



Uecker-Randow-Kogge

Bau- und Konstruktionsunterlagen sowie historio-archäologische Expertise

Springmann, Maik Jens O R

Publication date:
2003

Citation for published version (APA):
Springmann, M. J. O. R. (2003). Uecker-Randow-Kogge: Bau- und Konstruktionsunterlagen sowie historio-archäologische Expertise .

UECKER-RANDOW-KOGGE
Bau- und Konstruktionsunterlagen
sowie historio-archäologische Expertise

Auftraggeber

Ukranenland - Historische Werkstätten e.V.
Jatznickerstraße
17053 Torgelow

Projektverantwortlicher

Wolfgang Schubert

Schiffbauer

Dirk Krotz

Wissenschaftlicher Bearbeiter

Maik-Jens Springmann

Beteiligte Institutionen der Universität Rostock

Institut für Fertigungstechnik und Logistik
Prof. Dr. Martin-Christoph Wanner
Dipl. Ing. Jan Kunkel

Institut für Maritime Systeme und Strömungstechnik – Lehrstuhl Schiffbau

Prof. Dr. Robert Bronsart
Dipl. Ing. Steffen Gau
Dipl. Ing. Jürgen Siegl
Dipl. Ing. cand. Thomas Guiard
Dipl. Ing. cand. Jan Schatschneider

Institut für Maritime Systeme und Strömungstechnik – Lehrstuhl Meerestechnik

Prof. Dr. Mathias Paschen
Dr. Hans-Joachim Winkel
Dipl. Ing. cand. Sebastian Schreier

Inhaltsverzeichnis

Seite	Kapitel
7	Einführung
9	Die Form des Schiffes
13	Vermessung und schiffbauliche Modellierung
17	Modellbau, Windkanal und Schleppversuche
37	Stabilitäten und Hydrostatik
41	Schiffbau
49	Antrieb
51	Takelage und Besegelung
53	Schlußbemerkung und Danksagung
54	Formelzeichen und Abkürzungen
55	Literaturverzeichnis

Seit dem Jahre 2000 existiert die Idee, den Nachbau einer Kogge mit dem Arbeitstitel UECKER-RANDOW-KOGGE im Rahmen des sozialen Engagements der Historischen Werkstätten – Ukranenland e. V. in Torgelow - und des Arbeitsamtes mit Hilfe arbeitsloser Jugendlicher der strukturschwachen Region Uecker-Randow zu realisieren. Das Projekt begann im Jahre 2001 mit der Durchführung der für den Bau erforderlichen Maßnahmen. Eine Werft entstand, Holz wurde im umliegenden Wald in guter Zusammenarbeit mit den umliegenden Förstereien erworben. Die offizielle Kiellegung fand im Januar 2001 statt. Dieser Koggennachbau ordnet sich in die Tradition des Vereins ein, slawische Schiffsnachbauten - so des ersten Ralswiek II Nachbaus SVANTEVIT (um 900) und des Chabrow (heute Czarnowsko) Bootes SVAROG (um 1000) - in Fahrt zu bringen, welche in den Jahren 1997-1998 entstanden. Diese Schiffe unternahmen im Rahmen experimenteller Archäologie in den vergangenen Jahren erfolgreich Törns bis in den grossen dänischen Belt. Im Jahre 2002 wurde das Flussschiff AGNES zu Wasser gebracht, welches mit der symptomatischen Klinkerung der Aussenbeplankung schon koggentypische Baumerkmale aufweist und an dem Fertigungstechniken in Koggenbauweise getestet wurden.

Ursprünglich folgte der Ukranenland e.V. der Vorstellung den Koggennachbau auf der Grundlage des durch Lahn publizierten Bremer Schiffsfundes¹ zu realisieren. Dieses Konzept hätte sich prinzipiell in die Reihe von Nachbauten des Bremer Schiffsfundes, u.a. der Bremerhavener und Bremer Schiffsbauten (UBENA und ROLAND VON BREMEN), der Kampener Kogge und des originalgetreuen Nachbaus der KIELER KOGGE sowie der MALMÖ-KOGGE eingereiht und wäre somit einem bewährten Konzept von Schiffsnachbauten die wahrscheinlich in der Nordsee ihren Ursprung hatten, gefolgt.



Abb. 1: Die „Koggenwerft“. Unter der Überdachung wird das Schiff gezimmert.



Abb. 2: Das Flussschiff AGNES, die SVAROG und die SVANTEVIT an der nach Funden aus Wollin nachgebauten Hafenanlage des Ukranendorfes. Im Hintergrund die verschiedenen Häuserkonstruktionen mit den einzelnen Gewerken.

Archäologische Forschungen vergangener Jahre, auch die an deutscher Ostseeküste, unterlegen aber die aus ikonografischen Quellen abgeleitete Vermutung der Adaption wikingerzeitlicher Bautraditionen beim Bau von Ostseekoggen am Ausgang des 12. Jahrhunderts.

Auf Anraten des Bearbeiters wurde deshalb das Baukonzept vom Vorstand überdacht und man verständigte sich auf die Konstruktionslinie des Verfassers, die UECKER-RANDOW-KOGGE auf die grundlegenden Formvorgaben des Ebersdorfer

Koggenmodells, verbunden mit dem formalen Abgleich der auf dem Dreikönigsaltar abgebildeten Schiffe aus dem Kulturhistorischem Museum Rostock, zu beziehen. Somit entsteht ein Schiff aus dem Spätmittelalter, das wesentliche Merkmale ostseetypischer Bautraditionen vereint und sich somit *en detail* vom Bremer Schiffsfund unterscheidet. Der Bearbeiter wurde mit der Erstellung der historio-archäologischen Expertise und der darauf fußenden Bau- und Konstruktionsunterlagen beauftragt, die diesem Abschlussbericht zu Grunde liegen.

¹ Lahn, W., Die Kogge von Bremen. Band I: Bauteile und Bauablauf. In: Schriften des Deutschen Schiffahrtsmuseums 30. Hamburg 1992.

Bezog sich die ergologische Merkmalsanalyse von mittelalterlichen Seefahrzeugen vor der Entdeckung des Bremer Schiffsfundes im Jahre 1962 vorrangig auf die Analyse von Bildquellen¹, so rückte nach der Publikation von Werner Lahn² die archäologische Expertise der materiellen Hinterlassenschaften in den Vordergrund. Die Aufnahme von Lahn in Übereinstimmung mit der Quellenkritik von Paul Heinsius³ zu typischen Koggenmerkmalen, machte nicht nur viele Kompilationen zur Kogge die sich insbesondere auf die Auswertung von Bildmaterial und anderweitigen Darstellungen kaprizierten, zu Makulatur, sondern der Schiffsfund zeigte durch seinen bis dato unvergleichlichen Erhaltungszustand unwiderleglich wie eine Kogge aussah: Gerade, steile Steven, flacher kraweelbeplankter Boden in der Schiffsmittle, durchbalktes Schiff etc., dies deckte sich gut mit Überlieferungen aus der Dortrechter Zollrolle⁴ und eines *magnis navis trabeata* aus der Dammer Zollrolle⁵. Das „Einheitsschiff“ der Hanse, welches wir über einen Zeitraum von fast 600 Jahren⁶ in den Archivalien nachweisen können, war entdeckt! Das prägte künftige Zuordnungen nachhaltig: Ansätze, die regionale Spezifika aufzeigten⁷, erregten nicht die Beachtung der in Schiffstypen denkenden Forscherkreise, oder sie wurden gleich wieder anderen Schiffstypen zuerkannt⁸. Doch erinnern wir uns, wenn es auch oft unterschlagen wurde, zumindest die Dammer Zollrolle (1252) spricht von *navis qu(a)e habet lose boynghe*⁹, also von einem Schiff das nicht fest durchbalkt war, wie wir auch einige von dieser Bauweise auf den Siegeldarstellungen und im archäologischen Fundgut vermuten¹⁰. Also war die Kogge doch nicht so einheitlich beschaffen oder ist gar von anderen Schiffen die Rede?

Eine neue Diskussion

Wenn wir uns im Folgenden auf das Aussehen insbesondere von Schiffen des Spätmittelalters konzentrieren, ist die Einordnung von Wesensmerkmalen im Schiffbau des Mittelalters eine maßgebliche Voraussetzung um Entwicklungslinien und deren geographischen Ursprung aufzuzeigen. Dieser Argumentation steht auch Maarlevelds Überlegung von einer un stetigen Entwicklung im Schiffbau, nicht im Wege¹¹. Seit seinem Beitrag aus dem Jahre 1995 scheint mir eine Diskussion begonnen, die erfreulich zu verfolgen ist, schafft sie uns doch in methodischer Hinsicht wieder mehr interpretativen Freiraum. Dass sich deutsche Wissenschaftler an dieser einschlägig beteiligen¹² ist besonders wünschenswert, da die deutsche Schule zu Beginn des vergangenen Säkulums (Hagedorn, Vogel, Heinsius) der ergologischen Merkmalsanalyse von hansischen Schiffen durch ihre typologische Einengung Grenzen setzte.



Abb. 3: Die Längsansicht des Eberstorfer Koggenmodells zeigt mit dem gekrümmten Vorsteven, den integrierten Heckaufbau und dem durchgeklinkerten Schiffsboden die Unterschiede zum Bremer Schiffsfund auf.

Diese Schule fand ihre Fortführungen¹³, die momentan Grundlage angesprochener Diskussion sind. Weskis Überlegung, den Begriff „Kogge“ durch den Fundort zu ersetzen, um mit letzterem freier zu operieren - übrigens nicht nur eine gängige archäologische sondern auch ethnografische Praxis – sollte man nicht vorschnell ad acta legen, wenn wir dann auch infolgedessen zunächst mit mehreren Fundorttermini arbeiten müssten die bei Neufunden auch schnell wechseln würden, wie Crumlin-Pedersen letztens problematisiert¹⁴. Er gibt Weski’s Ansatz keine Unterstützung und führt weiter aus: „Wir können ganz genau die Merkmale beschreiben, die wir zur archäologischen Definition einer Kogge heranziehen¹⁵.“ Ist dem wirklich so? Auch wenn diese Aussage insbesondere für die Einführung der Kogge in seinem Beitrag beispielhaft hinterlegt wird, bleibt die Frage bei der hier versuchten Interpretation von bildlichen und plastischen Darstellungen in Zusammenhang mit dem Bau der

UECKER-RANDOW-KOGGE – wann ist es eine Kogge, wann ein Holk – bestehen. So kommen wir nicht nur auf eine evolutionäre Betrachtung, die nach Weski unbeabsichtigt der Biologie¹⁶ entlehnt ist, zu sprechen, sondern hier sind wir m.E. auf dem Gebiet der Hermeneutik, und da sollten wir uns einen Blick auf einen Klassiker gestatten. Gründer führt schon 1967/68 aus: „Zwischen der zu verstehenden Äusserung und dem, der sie verstehen möchte, liegt ein geschichtlicher Bruch, bei dem der, der verstehen möchte, aus dem geschichtlichen Zusammenhang, dem die Äusserung angehört, herausgetreten ist, sich emanzipiert hat¹⁷.“ Mit anderen Worten, und denen von Kant formuliert, hat Hermeneutik, d.h. die Lehre der Interpretation eines Textes oder Wortes, das Problem der Bedingungen der Möglichkeiten¹⁸. Und genau hier sehe ich auch unser Problem: Denn wir sind, ob wir es wollten oder nicht, aus der Wortgeschichte in die

¹ Schriften von Hagedorn, Heinsius, Moll, Vogel u.a.

² Lahn, W., a. a. O. 1992.

³ Heinsius, Das Schiff der hansischen Frühzeit, Köln, Wien 1986.

⁴ HUB. I 1033,

⁵ HUB I., S. 432

⁶ Das Wort cogsculd ist das erste Mal in einem Dokument zwischen Fischereigerechten von Utrecht um 900 erwähnt (Heinsius, a.a.O., S. 70), die Verbindung zu einem Schiffstyp ist unsicher, Nach Hagedorn ist die Kogge als Bezeichnung bei einem lübschen Bergfahrer 1449 das letzte Mal nachweisbar. Später aber z.B. durch den Wrackfund von Wismar-Wendorf, datiert um 1476 ergologisch nachgewiesen (Fürster, Alltagsleben auf spätmittelalterlichen Schiffen, In: Maritime Archäologie Heute, Rostock 2002, S. 239) .

⁷ Ellmers, a. a. O., 1981, Heinsius, a.a.O., S. 59ff., Steussloff, a. a. O., 1983, Schnall, a. a. O., 1989.

⁸ Hirte. & Wolf, a. a. O., 1989, S. 573.

⁹ HUB. I, S. 432.

¹⁰ Siegel von Sandwich, nr. 170, Ewe, a. a. O., 1972, Andersen, a. a. O., 1983.

¹¹ Weski, a. a. O., 2002. S. 144, Maarleveld, a. a. O., 1995. S.3ff, Ich meine die Evolutions-theorie die Weski anführt hat in unserem Zusammenhang a priori eine philosophische Dimension.

¹² Weski, a. a. O., 1999. S. 360-379. Ellmers, a. a. O., 2001, S. 234-240. Dammann, a. a.O., 2000, H.2, S. 75-86, Westphal, a. a. O., 1999 Heft 3, S. 103-115, Förster. & Lüth , a. a. O., 1999, S. 8-13. Springmann, a. a. O., 2000. S. 13ff

¹³ Cederlund. C.O., A systematic approach to the study of the remains of Old Boats and Ships, In: Aspects of Maritime Archaeology and Ethnography in Northern Europe, London 1984, S. 8-31, Crumlin-Pedersen, O., From Viking Ships to Hanseatic Cogs. Third Paul Johnstone Memorial Lecture. No. 4 London 1983., Greenhill, B., The Archaeology of Boats and Ships, London 1995. Hasslöf, O., Main Principles in Technology of Ship-Building, In: Ships and Shipyards, Sailors and Fishermen, Copenhagen 1970, S. 27-72.

¹⁴ Crumlin Pedersen, O., Die Kogge. Sternstunde der Schiffarchäologie. Bremerhaven 2003. S. 266., s.d.a. ausführlich Ders, To be or not to be a cog: the Bremen Cog in perspective. In: IJNA 29, 2000, S. 230-246.

Begriffsgeschichte eingetreten, ohne das historische Bezüge diesen Übergang im einzelnen rechtfertigen. Es ist keineswegs zweifelsfrei, dass derjenige, der das Wort Kogge, mit all seinem indifferenten etymologischen Hintergrund¹⁵, überlieferte, wirklich einen allgemeingültigen und die Wesensmerkmale einer Kogge umfassenden Begriff, und damit ausschliesslich einen Schiffstyp meint²⁰. Wobei noch zu fragen ist, ob so eine Klassifizierungs-, also eine Erklärungsnotwendigkeit überhaupt in jene Zeiten zu implizieren ist. Ein Wort, für „Schiffstyp“ (also der Schiffstyp so und so), ist mir nicht geläufig und wenn, dann wäre dies auch kein wahrscheinlicher (mathematisch gesehen) Beweis. Aus dem Wort Kogge, ist der Begriff Kogge geworden, bei den angedeuteten Variablen ein verhängnisvoller Zirkelschluss. Einen Sinn für die bemerkte Typologisierung in Schriftquellen wäre z.B. mit bestimmten Zollbestimmungen gegeben, doch die sind m. W. keinesfalls nachgewiesen. So ist es wirklich von Interesse, welche Bedeutung die Benennung Kogge, zum Einen im Frühmittelalter, d.h. in der Zeit der Ablösung oder Adaption wikinger- und slawischzeitlicher Bautraditionen, und zum Anderen im Spätmittelalter, also in der Zeit der Ablösung der Kogge durch die Bezeichnungen Holk und Kraweel, hatte. Gerade im Frühmittelalter erfährt unsere selbst gewählte Klassifizierungsbemühung einen erheblichen Bruch über denen wir uns auf jeden Fall im klaren sein müssen: Haben wir Schiffe des Frühmittelalters zum Teil noch selbst als wikingerzeitlich (also mit einem gegenwärtigen Begriff), oder nur begrenzt mit historischen Bezeichnungen, wie z.B. knorr oder knarr belegt, erhebt der historisch hergeleitete Begriff Kogge gemeinhin durch unsere erarbeiteten Erkennungsmerkmale²¹ heute einen Ausschiesslichkeitsanspruch. In dieser Apologetik war also die Kollerupkogge ein Vorgänger, ob sie aber auch ein zu verallgemeinernder, sozusagen klassischer Prototyp war²² oder gemeinhin eine Kogge²³, bleibt abzuwarten. Das Problem *to be or not to be a cog* wie Crumlin Pedersen²⁴ kürzlich ausführt oder Kogge oder nicht Kogge wie Dammann²⁵ meint, ist nur auf das archäologische Fundgut bezogen vielleicht auch nicht so relevant, problematisch ist nur wenn wir mit unseren „neuentdeckten Koggen“ in die historischen Bezüge gehen und sie dann so und soviel Lasten, vergleichbar mit der und der Quelle, von A nach B transportierte, ohne überhaupt zu wissen, ob zwischen der archäologischen und der historischen Bezeichnung ein direkter Bezug existiert. Oder anders formuliert: Ob vielleicht eine breite Kogge des 15. Jahrhunderts, vielleicht ein Holk war. Und wenn nur ein Merkmal unserer Einheitskogge fehlt, ist es dann gleich ein koggenähnliches (cog like) Fahrzeug? Ist ein Holk ein koggenähnliches Fahrzeug? Wie ist die klassische Form einer Kogge zu beschreiben und wie sah sie aus? Viele Fragen und hoffentlich nicht vorschnelle

Antworten die wir in nächster Zeit finden müssen. Hintergründe die uns bei der Planung des Nachbaus beeinflussen und zu entsprechender Form führten.

Bildliche und plastische Darstellungen

In diesen Problemkreis können bildliche und plastische Darstellungen viel beitragen, da der etymologische Hintergrund der schriftlichen Überlieferung genauso subjektiver Natur ist, wie sich auch alle der auf uns gekommenen Darstellungsformen von Schiffen aus einer subjektiven Impression herleiten. Ikonografisches Material flankiert bis dato typologische Forschungen, ist aber dem schiffsarchäologisch Forschenden nach Lahn’s Publikation nicht mehr a priori Forschungsgegenstand und dient auch nicht mehr als gleichgewichtiges interpretatives Faktum. Denn die bildlichen Quellen schienen dem Archäologen aus heutiger Sicht behelfsmässig, und gerieten in dem Augenblick etwas in Vergessenheit, als man sich nicht mehr mit der subjektiven Interpretation des Künstlers, sondern



Abb. 4: Der 1483 entstandene Dreikönigsaltar aus Rostock gab unter anderen die Vorlage für das Überwasserschiff einschliesslich der Takelage des Nachbaus.

mit der materiellen Hinterlassenschaft des Schiffbauers – dem Schiffsrest – auseinandersetzen konnte²⁶. Denn die Frage stellte sich bei den Darstellungen immer: Was war wirklichkeitsgetreue Darstellung, was Fiktion?

Wurde das Bild vor der Prospektion des Bremer Schiffsfundes m.E. typologisch überbewertet, so hebt sich der derzeitige Stand der typologischen, besser ergologischen Bildforschung nicht wenig von dem der 60er Jahre ab. Ein statistisch ergologischer Versuch - also einer der sich auf die verwendeten Technologien und Baumerkmale konzentriert und die Darstellungen nicht gleich in Typen klassifiziert - verbunden mit einer Bewertung der historischen Situation aus der sich die Darstellung herleitet, wie wir es aus der Besprechung von z.B. Schiffsmodellen der Antike her kennen, ist kaum zu bemerken²⁷. Die ergologische Besprechung der Vielzahl auf uns gekommener Darstellungen und ihr Abgleich mit dem archäologischen Material ist also ein gewichtiges Postulat der nächsten Jahre. Denn die zeitliche Spanne, in der wir mittelalterliche Schiffsstücke datieren, und deren geografische Breite hinsichtlich des Auffindungsortes bieten - nur für sich - wenig komparativen Ansatz um deren Erforschung überhaupt auf Schiffstypen abzustellen, und gerade ikonografische und modellhafte Studien, zeigen die Notwendigkeit und Möglichkeit der Hinzuziehung bildhaften Materials an und bringen die Forschung, wie z.B. durch die Einbringung des Ebersdorfer Koggenmodells in die Diskussion durch W. Steussloff und des Dreikönigsaltars durch D. Ellmers zu neuen Gesichtspunkten.

In jedem Fall sind Darstellungen unterschiedlichster Couleur unabdingbare Grundlage, und zwar wenn es um die Besegelung und Takelage geht, deren Abbildung wichtige überregionale Vergleichsmomente zeitigen kann. Diese Zeilen werden deshalb den Konstruktions- und Baugrundlagen der UECKER-RANDOW-KOGGE vorweggestellt.

Ergologische Tendenzen

Wir wissen heute, dass die Kogge über fast sechs Jahrhunderte als Schiffstyp - wenn wir ihn überhaupt als solchen beschreiben können und nicht besser von verwandten Schiffbautechniken und Technologien sprechen²⁸ - nicht nur im Detail regionale Spezifika aufweist, sondern wahrscheinlich auch unterschiedlichen technologischen Einflüssen und, über den langen Zeitraum besehen, weiteren Entwicklungen unterlag.²⁹ Nach den neuesten archäologischen Funden hebt sich die Kogge deshalb nicht mehr so deutlich vom mittelalterlichen Schiff skandinavischer Bautradition ab, wie wir es noch Anfang der 90er Jahre glaubten.³⁰

15 Ders., a. a. O. 2003, S. 266.
16 Weski, T., a.a.O.,S. 143-144.
17 Gründer, K., Hermeneutik und Wissenschaftstheorie, In: Philo-sophisches Jahrbuch 75, Frankfurt a. Main, S. 155.
18 Kant, I., Kritik der reinen Vernunft, S. 126
19 Heinsius, a. a. O., S. 70 ff.
20 So problematisiert Dammann im Jahre 2000 (Ders. a. a. O., S. 79) den Vergleich der Kogge aus einer Quelle von 1328, Litwin, a. a. O., 1989, S. 153. S.d.a. Westphal, a. a. O., S. 114, Ellmers, a. a. O., 2002, S. 162 Titel seines Aufsatzes im JNA So Dammann, a. a. O., S. 84. Reinders, a. a. O., 1980, Ders., a. a. O., 1985, Johnston, a. a. O.,1985, Maarleveld, a. a. O., 1995, S. 3-7, Reinders, a. a. O., 1985), (s. d. a. Westphal, a. a. O., 1999, S. 108ff., Schnall, a. a. O., 1989 S. 569.
21 in der Zusammenführung dieses Merkmal, s. Litwin, a. a. O., 1989, S. 153
22 S. d. a. Westphal, a. a. O., S. 114
23 Elmers, a. a. O., S. 162
24 Titel seines Aufsatzes JMA
25 Damman, a. a. O., 2000
26 Reinders, a. a. O., 2000, Ders. a. a. O., 1985
27 Johnston, a. a. O., 1985
28 Marleveld, a. a. O., 1995
29 Kollerup-Fund und Kalmar I Wrack
30 Schnall, a. a. O., 1989, S. 5, 6, 9

Wenn wir die Ausmaße, insbesondere die Breitenverhältnisse und die Kimmung der gerade im Entstehen befindlichen, ganz aus Kiefernholz gefertigten Poeler Kogge³¹, aber auch des Nachbau's von Gedesby AGNETE³² und vom generellen Konzept her, des Nachbau's des Kalmar I Schiffes ALUETT³³ ansehen, so kommen uns die Kimmung und die Länge -Breite Verhältnisse wikingerzeitlicher Schiffe wie des Skuldelev I Nachbau's SAGA SIGLAR ins Blickfeld.

Vergleichsmöglichkeiten erschliessen sich auch durch bildliche und historische Studien die sich mit den archäologischen Erkenntnissen decken, wenn man auch von der Entdeckung einer „baltischen Koggenform“ anhand zweier Funde, des Gellen- und Poelerwrackes, wohl noch nicht sprechen kann und man sich damit ganz zwangsläufig, wie nach dem Bremer Schiffsfund geschehen, wieder Grenzen setzt³⁴. Denn bestimmte Einflüsse sind bislang kaum untersucht worden, so wissen wir von den „Schiffahrtserfahrungen“ der Kreuzritter im Mittelmeer, auch denen die Herrmann Salza der Hochmeister des Deutschen Ritterordens, im 13. Jahrhundert mit ins Prussenland an die Ostseeküste³⁵ nahm. Und auch das Ebersdorfer Koggenmodell lässt sich, wenn auch nicht erwiesen, in diesen Zusammenhang einordnen³⁶. Forschungen über sogenannte „Mittelmeerkoggen“ erschliessen uns auch diesen von derzeitiger „Koggenforschung“ bisher entfernt liegenden geographischen Bereich.³⁷

Auch werden die westeuropäischen Seehändler, bevor sie selbst mit ihren Fahrzeugen sich der Risiken der Umlandfahrt in die Ostsee unterzogen, also in einem Zeitraum vor 1200, mit den herkömmlichen Fahrzeugen des Ostseeraums ihre Ware versiegelt haben³⁸. Ein recht früher Fund einer Kogge um ca. 1150 (Datierung bislang ungenau), also wahrscheinlich sogar noch vor der Stadtgründung Lübecks (1159) bemerken wir mit dem Schiffsfund Kuggmaren 1 aus dem Stockholmer Schärengürtel.³⁹ Auf der Grundlage dieser Entwicklung sind Gedanken zur ergologischen Neubestimmung mittelalterlicher Seefahrzeuge durchaus legitim. Auf das Spätmittelalter bezogen sehe ich deshalb vom ergologischen Gesichtspunkt aus

- den friesischen Einfluß, der durch Weski in einer *Ijsselmeertypenbeschreibung*⁴⁰ zusammengefasst wird. Er verkörpert *en gros* die bisher synonyme, als klassisch angenommene Form der Bremer Kogge von 1380;
- den iberischen Einfluss, welcher als geographische Schnittstelle zum mediterranen und nordeuropäischen Schiffbau bemerkt wird. Dieser darf bei der Entwicklung der Hulkform und der Mehrmastigkeit als wesentlich betrachtet werden.
- Die im russischen Bereich adaptierte glatte, kraweelbeplankte Aussenhaut und der Wergkalfaterung mit Kalfatleisten und Sinteln von aussen, den wir in der Beschreibung Lodka,

oder Lodja bis in die Frühe Neuzeit hinein verfolgen können⁴¹ und in deren technologische Tradition auch der Schiffsrest von Kollerup⁴², die Gellenkogge vor Hiddensee⁴³, Kuggmaren 1 und das Maasilinna Wrack⁴⁴ mit ihren kraweel ausgeführten Beplankungstechnologien und deren Kalfaterung Hinweise bietet.⁴⁵

- einen skandinavischen Einfluss⁴⁶ mit runden Vorsteven, ausladener Form und technologischen Details wie genieteten Plankenverbindungen und das Fehlen von Kalfatleisten, also der bis dato angenommenen Synthese von wikingerzeitlichen und friesischen Elementen, nach dem Eindringen friesischer Kaufleute via Hollingstedt und Haithabu und der erwähnten

Umlandfahrt im ausgehenden 12. Jahrhundert. Merkmale erkennen wir in der Form und Details am Poeler Wrackfund⁴⁷, am Gedesby Schiff⁴⁸, am Kalmar I, II und IV Wrack⁴⁹, am Ebersdorfer Koggenmodell⁵⁰, aber auch auf Abbildungen wie dem Dreikönigsaltar aus dem Kulturhistorischen Museum in Rostock⁵¹, den Ritzzeichnungen auf dem Osebergsschiff. Auch das Kupferschiff⁵² mit seiner genieteten Aussenhaut, wie das Kalmar I Schiff und das Q 75 aus dem Ijsselmeer⁵³ kann auf diese skandinavischen Einflüsse hindeuten, wobei auch einige Schiffe auf den Haithabu Münzen Frühformen dieser Entwicklung darstellen können.

Diesem Kontext folgt der Nachbau aus Torgelow.

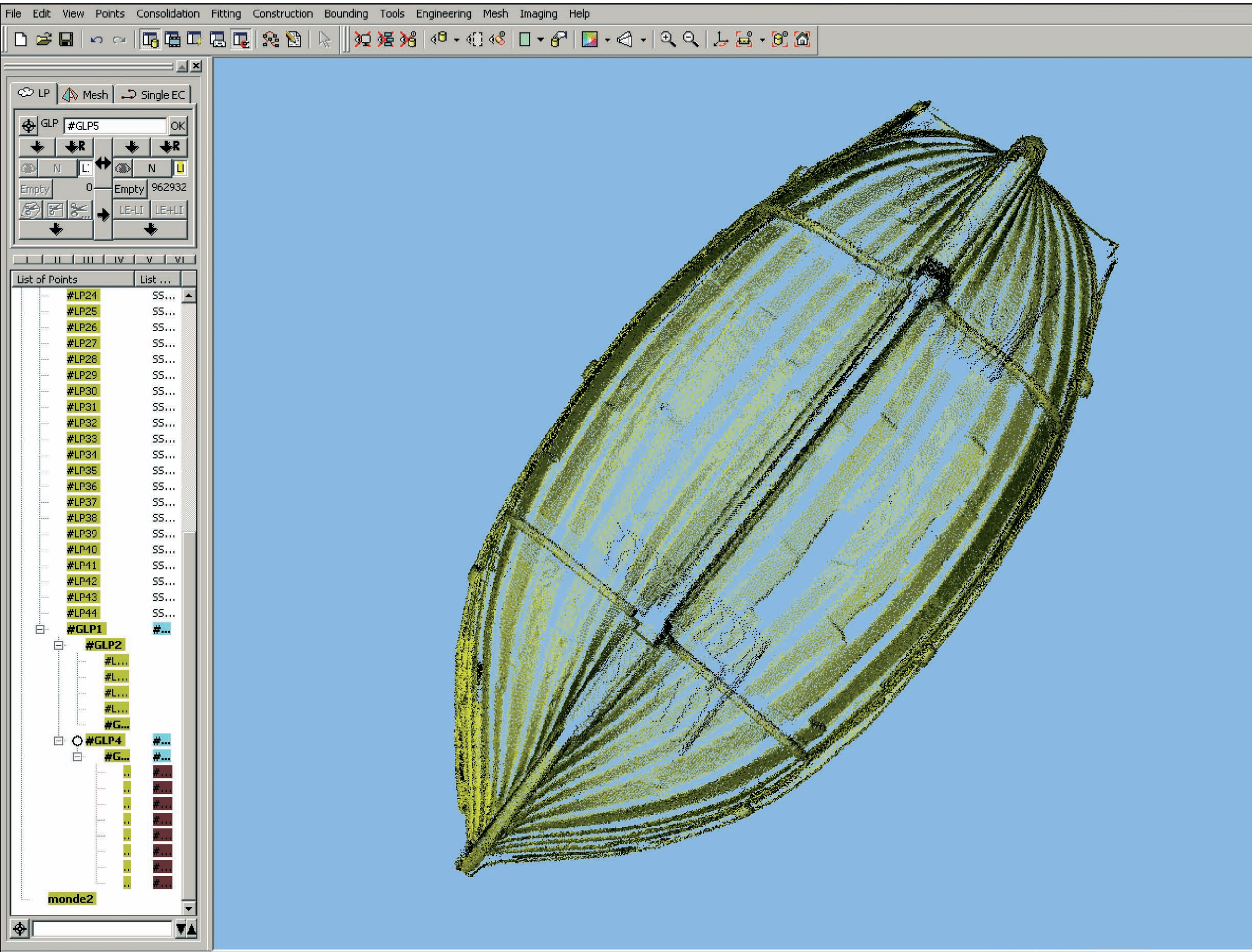


Abb. 5: Ein Screenshot der lasergestützten Vermessung des Schiffsbodens mit der symptomatischen, durchgeklinkerten Form des Schiffes zeigt die fachkundige Fertigung durch den Modellbauer an.

31 Für ganz aus Kiefernholz gezimmerte Schiffe, ähnlich des Poeler Wrackfundes, wird in den Revaler Archivalien z.B. die Bezeichnung Furlasse überliefert (Springmann, Diss. I. Vorbereitung), der Ausgräber führt dieses Schiff als Poeler Kogge (Förster, a. a. O., 1999, S. 77).

32 Bill, a. a. O., 1991. S. 188-198, Bill, & Vinner, a. a. O., 1995. S. 3-8.

33 Lindquist, a. a. O., 1995

34 Förster und Luth, a.a.O., 1999, 8-13, s.d.a. Dammann, a.a.O., S. 83.

35 Springmann, i. Dr., 2003

36 Steussloff, a.a.O., S. 190.

37 Quijada, a. a. O., 2001

38 Crumlin-Pedersen, a. a. O., 1979, S. 29ff., a. a. O., 2000 Heft 2, S. 78, Weski, a.a.O., 2002, S. 146.

39 Adams, J. & Rönby, a. a. O., IJNA Vol. 31, S. 172-182.

40 „A typical feature of the Ijsselmeer type is the mixture of carvel bottom and clinker sides.“ Weski, a. a. O., 1999, 28.4, S. 360-379.

41 Sorokin, a. a. O., 1997, S. 190, Glasow, a. a. O., 1911.

42 Westphal, a.a.O., S. 106-107.

43 Förster, T., a.a.O., S. 8-13.

44 Mäss, a. a. O., 1988

45 Westphal stellt die These auf, dass „sich die klassische Hansekogge aus dem 14. Jahrhundert aus einem ursprünglich ganz kraweelbeplankten Schiffstyp entwickelt hat.“ (Ders. a. a. O., S. 134)

46 Heinsius, (Ders, a. a. O., S. 56ff., Ellmers (Ders. a. a. O.), Schnall (Ders. a. a. O., S. 569 und Steussloff, a.a.O., S. 205, sprechen von mecklenburgischen (-lubbischen) Bauformen, nach Dammann haben wir es mit einer völlig anderen Tradition als „typische Ostseefahrzeuge des Mittelalters“ zu tun (Dammann, a.a.O., S. 82)

47 Springmann, a. a. O., 2000. Dazu könnte auch die Verwendung von Mastfussspannen an der Kollerupkogge (Andersen, a. a. O., 1983, fig. 15, s.d.a. Westphal, a. a. O., 1999, S. 103-115) genauso gehören wie die Kimmung und der Rundstevan am Kalmar I Schiff. (Åkerlund, a. a. O., Upsala 1951)

48 Bill, a. a. O., København 1991. S. 188-198. Ders. & Vinner, a. a. O., 1995, S. 3-8.

49 Lindquist, a.a.O. S. 93 ff.

50 So ist dieses Modell weniger dem Holk (Hirte & Wolf, a.a.O. S. 573.), als mehr den regionalen Bezügen bei der Weiterentwicklung der Kogge im Ostseeraum zuzuzählen.

51 Ellmers, a.a.O.1987

52 Litwin, a. a. O., 1980, S. 217-225.

53 Reinders, a.a.O., 1985

Der Konstruktionsidee folgend wurde in Absprache mit dem Pfarramt der Gemeinde Ebersdorf unter Leitung des Forschungsingenieurs Jens Kunkel, Institut für Fertigungstechnik und Logistik der Universität Rostock, das Ebersdorfer Koggenmodell mit Hilfe eines lasergestützten 3D Triangulationsverfahrens Mensi GS 25 gescannt und computergestützt vermessen.

Das Vermessungsverfahren wird überwiegend zur Aufnahme von Schiffssegmenten im Soll – Ist Vergleich eingesetzt, im Institut aber auch zu Forschungszwecken in Hinsicht der Entwicklung neuer Vermessungsapplikationen getestet.

Das Verfahren basiert auf Messung eines Winkel, der sich durch den ausgesendeten und dann durch das Vermessungsobjekt

reflektierten Laserstrahl ergibt (s. Abb. 6). Durch die einzelnen reflektierten Punkte - am Modell wurde alle 3 mm ein Punkt erfaßt - ergibt sich eine „Punktwolke“, aus der sich das vermessene Objekt ableiten lässt.

Die generellen, manuell durch W. Steusloff erfassten Vermessungsdaten¹ des Ebersdorfer Koggenmodells sind nachfolgend aufgeführt:

Länge ü.a.:	1150 mm
Länge zw. Stevenaußenkanten:	1120 mm
Länge Kiel:	745 mm
Breite ü.a.:	515 mm
Höhe:	43 mm



Abb. 7: Die Studenten Thomas Guiard (Bildmitte) und Jan Schattschneider bei der Modellierung des Schiffes auf der Linux-Oberfläche mit dem Schiffbauprogramm NAPA.

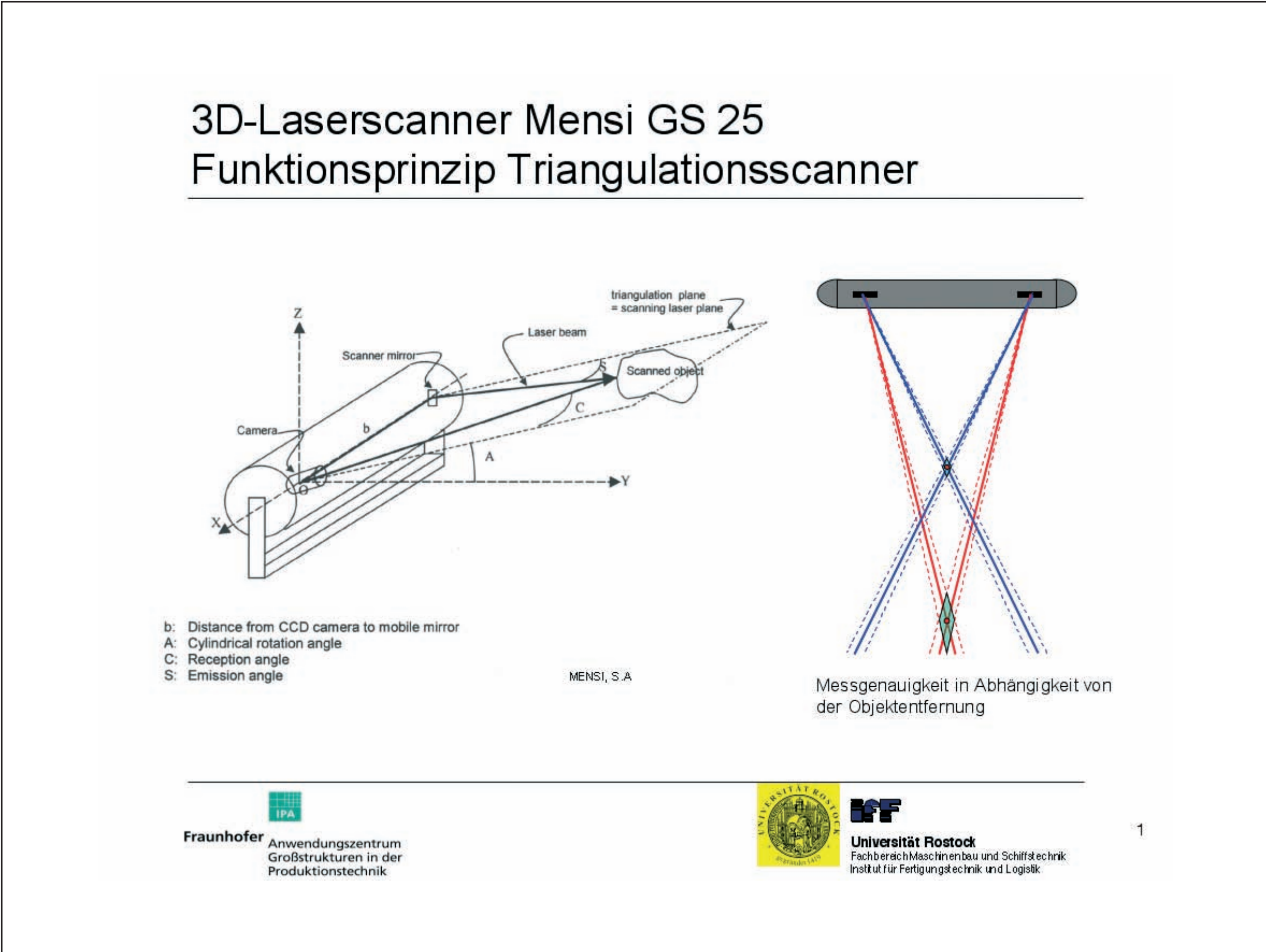


Abb. 6: Das hochfunktionale, lasergestützte Vermessungsprinzip Mensi GS 25 funktioniert in Anwendung der über Jahrtausende bekannten Positionsbestimmung des Pythagoras.

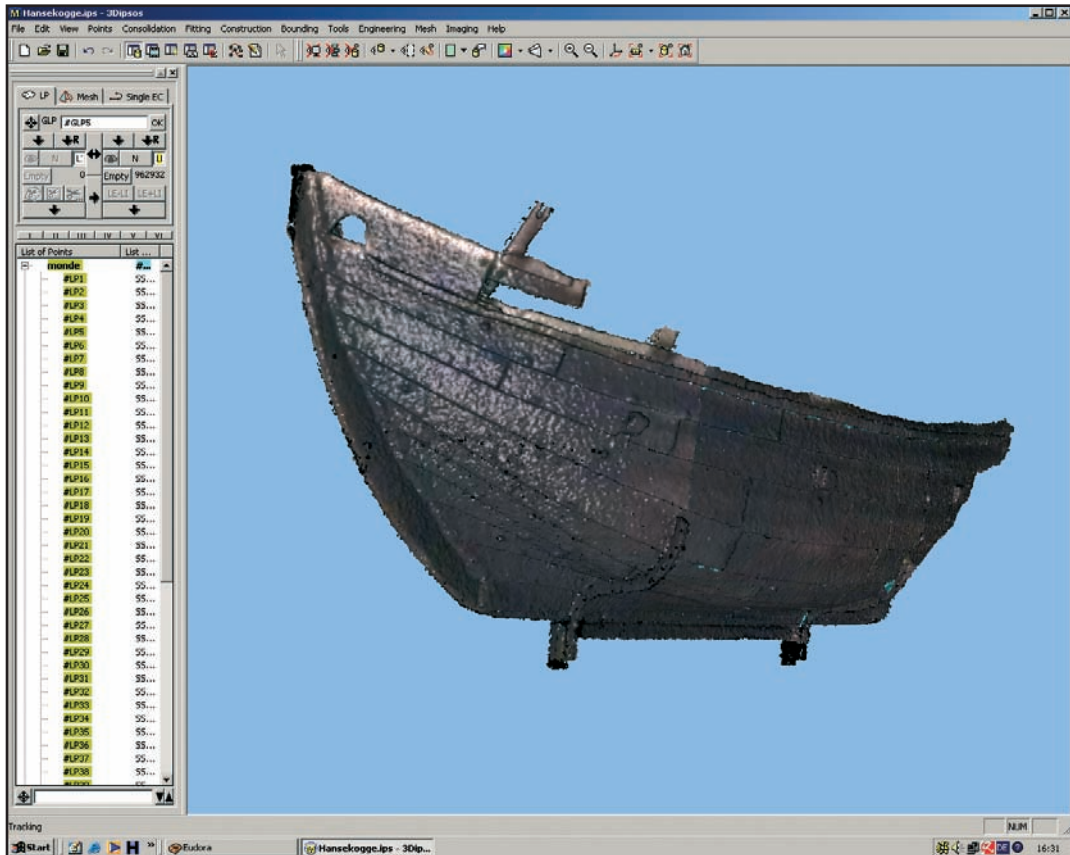


Abb. 8: Die Screenshots zeigen die detaillierte Aufmessung des Modells durch ein enges Raster der Punktwolke.

¹ Steusloff, W., a. a. O. S. 191-192

14

VERMESSUNG UND SCHIFFBAULICHE MODELLIERUNG

Es wurden insgesamt 8 Vermessungen, 2 vorne und achtern, drei je Bordseite unternommenen. Durch Referenzbälle die gleichfalls eingemessen worden sind (s. Abb. 9) wurden die jeweiligen Vermessungen zusammengesetzt. Diese Vermessungsunterlagen wurden in das leistungsfähige CAE-Programm NAPA, welches die Projektierung von Schiffen und maritimen Bauwerken unterstützt, eingeladen und bildeten die Grunddaten zur Ausgabe der Schiffsrisse². Mit dem Programm werden Schiffe dreidimensional modelliert. Dazu gehört die Definition der Rumpfoberfläche sowie der inneren Strukturen, wie Einbauten. Damit wurden die entsprechenden Hebelarmkurven bei verschiedenen simulierten Beladungszuständen der UECKER-RANDOW-KOGGE berechnet. Von den entsprechend vorhandenen Untersystemen wurden folgende Untersysteme bei der Berechnung der Kogge eingesetzt:

- Geometry
- Hydrostatic
- Loading & Stability

Die Vermessungsdaten des Rumpfes des Ebersdorfer Modells wurden mit den generellen Planungsdaten der UECKER-RANDOW-KOGGE abgeglichen und der Rumpf via NAPA modelliert. Die durch den Auftraggeber vorgegebenen Planungsdaten des Schiffes waren:

Länge über alles (plus-minus 1-2 m):	24m
Breite:	7.5 m, max. 8 m
Tiefgang:	max. 2 m
Länge Kiel:	max. 16 m
Höhe Freibord:	4,5 m (Kiel bis Oberkante Freibord)
Länge Mast:	max. 28 m
Mast Querschnitt:	unter 0,55 m
Rohdicke Planken:	56 mm

² Schwan, R., Praktische Einarbeitung in das Programm NAPA, Rostock 2002, unveröff. Seminararbeit S. 4ff

³ Gesprächsprotokoll mit dem Sachverständigen für Traditionsschiffahrt vom 4.10.2002

Die maximale Anzahl der beförderten Personen wurde auf 50 begrenzt³. Das Schiff wurde mit 27 Tonnen Ballast berechnet. Im unaufgerüsteten Zustand wiegt das Schiff 30 Tonnen. Als Schmutzwassertanks wurden 2 Sammeltanks mit 750 l und als

Frischwasserreservoir 1000 l, sowie 2 Dieseltanks mit je 500 l Gesamtfassungsvermögen zur Grundlage der Berechnung erhoben. Weitere Gewichte ergeben sich aus folgender Tabelle:

	Alle Distanzen in Meter			Alle Massen in Tonnen	
Teil	Masse	CGX		CGZ	
Außenhaut, Spanten und Innenbeplankung	36,90	8,08	298,15	2,24	82,66
Vorsteven	0,65	17,90	11,64	3,50	2,28
Achtersteven	0,45	-1,10	-0,50	2,40	1,08
achteres Kastell	8,00	1,00	8,00	6,00	48,00
vorderes Kastell	4,00	17,40	69,60	6,40	25,60
Kiel	1,94	7,50	14,55	0,60	1,16
Deck	6,28	7,76	48,75	3,90	24,50
Masse 1	58,22		450,19		185,27
Schwerpunkt 1		7,73		3,18	
Maschine	1,14	3,50	3,99	1,77	2,02
Schottel	0,72	5,50	3,96	1,00	0,72
Mast	2,90	8,50	24,65	11,00	31,90
Rah	1,00	8,50	18,50	18,50	18,50
Takelage und Segel	2,00	8,50	17,00	11,00	22,00
zus. Ausrüstung	8,00	7,40	59,20	2,20	17,60
Gewicht 2	15,76		117,30		92,74
Gewichtsschwerpunkt 2		7,442893401		5,884378173	
Besatzung (59x0,75)	3,75	7,4		5	
Masse (ohne Ballast und Tanks)		77,73			
Schwerpunkt gesamt in x-Richtung		7,657596871			
Schwerpunkt gesamt in z-Richtung		3,817766171			

Gewichtsberechnung 10.01.2003



Abb. 9: Das Vermessungssystem rastert das Modell berührungslos mit einem Laserstrahl ab und erfährt durch die roten Positionierungsbälle seine festen Koordinaten, um nachfolgend die einzelnen Vermessungen zusammenführen zu können.

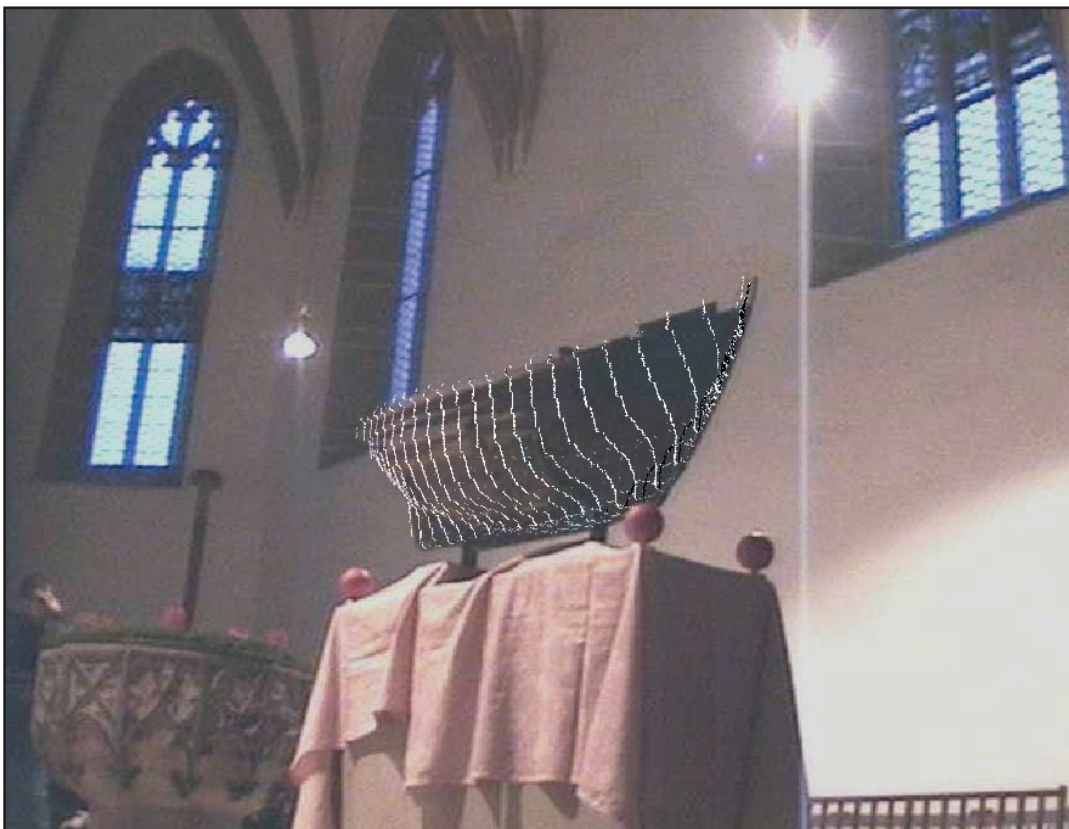


Abb. 10: Diese Animation zeigt wie aus den ersten verarbeiteten Vermessungen der erste Spantenriß des Ebersdorfer Modell entsteht.

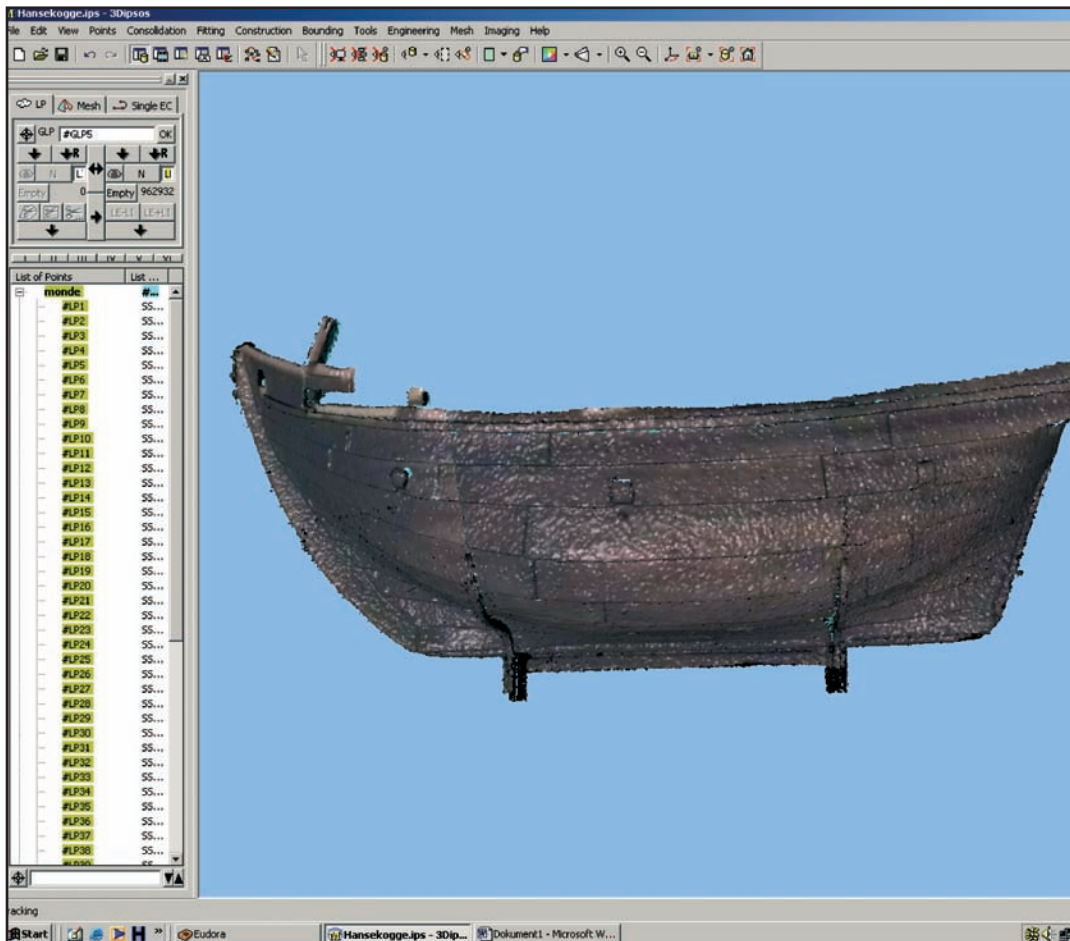


Abb. 11: Genaueste Vermessungen von Konstruktionsdetails am Computer können jederzeit nachfolgend realisiert werden.

3D-Laserscanner Mensi GS 25- technische Daten



Foto: Uni-Rostock



MENSI, S.A

- Messprinzip: Triangulation
- Öffnungswinkel: 320° x 46°
- Messbereich: 2 bis 25 m (einfache Entfernung)
- Scangeschwindigkeit: bis zu 100 Punkte/Sekunde
- Messgenauigkeit: bis zu 0,6 mm 2_
- Laserspotdurchmesser: 0,7 mm
- Lasersteuerung und Datenaufnahme über Industrie-PC

Abb. 12: Der schwenbare Messkopf des Systems erlaubt Messungen auch an schwer zugänglichen Bereichen des Modells. Das für den Schiffbau relevante System hat sich bei der Aufnahme des Modells erstmals in einem kulturhistorischen und denkmalpflegerischen Zusammenhang bewährt.

Um vorausschauende Aussagen über die Vortriebs-, Kurs- und Segeleigenschaften zu finden, Messungen an der Universität Rostock, Institut für Maritime Systeme und Strömungstechnik, Lehrstuhl Meerestechnik, im Windkanal und in der Längsschlepprinne wurden an zwei Modellen durchgeführt. Beide Modelle entstanden im Rahmen einer Weiterbildung des Auftraggebers anhand der Vorgaben des Bearbeiters, die gleichfalls in Zusammenarbeit mit dem bezeichneten Institut der Universität entstanden. Mehrere Konsultationen beim Bau der Modelle erfolgten. Das Windkanalmodell entstand in einer Grösse zum Original von 1:50 (s.Abb13). Der Takelplan wurde vom Bearbeiter entwickelt und 4 Segel sollten die unterschiedlichen Vortriebs- und Fahreigenschaften der vier Reffmöglichkeiten im Wind nachweisen. Das Wassermmodell entstand in einem Größenverhältnis von 1:15 ohne Takelage und Besegelung (s.Abb 14). Beide Modelle entstanden, beschriebener Koggenbauart folgend, (s.Kapitel Schiffbau) in Schalenbauweise, wobei Pappelsperholz auf Baumallen aufgeplankt wurde. Auf genaueste Fertigung wurde geachtet, wenn auch das Windkanalmodell von den zeichnerischen Vorgaben unwesentlich abwich¹. Das Schleppmodell wurde durch Schotten verstärkt und gegen Wasseraufnahme durch das Holz rundweg oberflächenbehandelt. Nach dem die Sichtachsen festgelegt wurden, entstanden abnehmbare Kastellaufbauten. Daraufhin wurde die Höhe der Reling des vorderen Kastells verringert.

Die Besegelung des Windkanalmodells entstand zuerst aus Drakontuch, welches sich bei den Versuchen als zu steif herausstellte. Es wurde gegen Baumwolltuch ausgewechselt. Nach dem Beplanken des Windkanalmodells wurde das

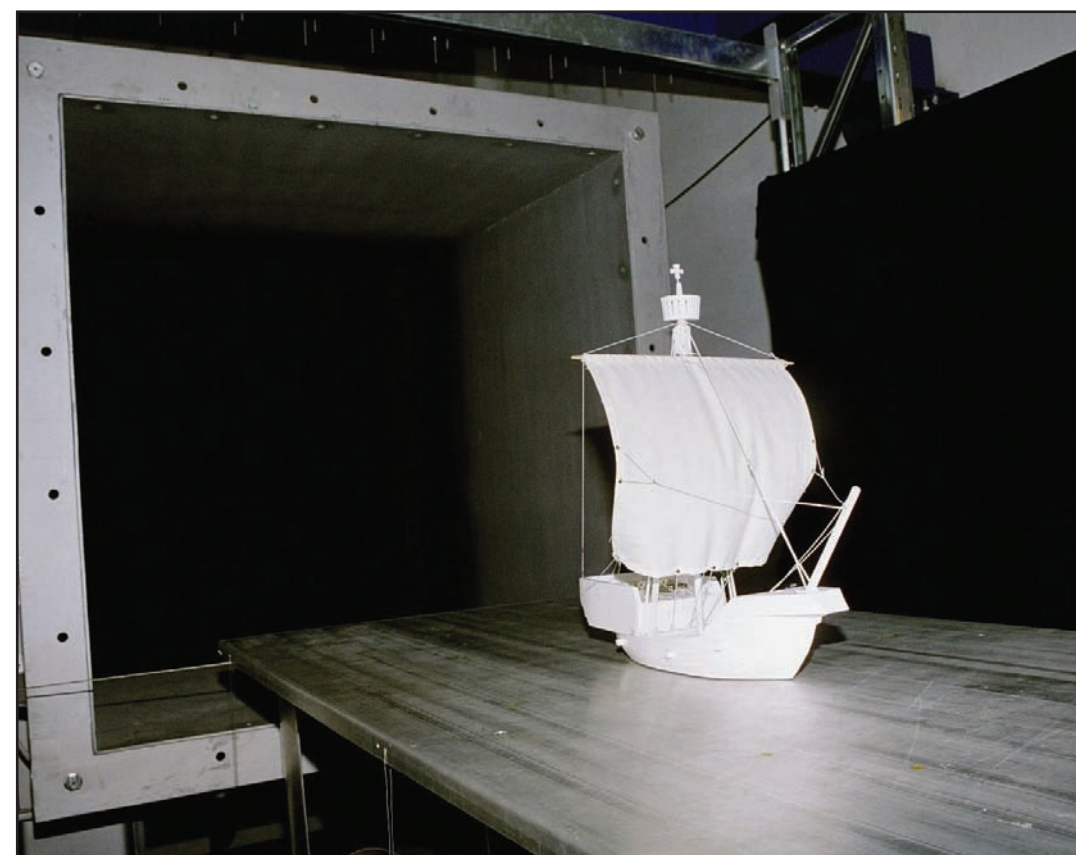


Abb. 13



Abb. 14

Unterwasserschiff in Höhe KWL abgetrennt. Die Messungen am Überwasserschiff erfolgten somit im Windkanal, die des Unterwasserschiffes in der Längsschlepprinne. Beide Ergebnisse wurden durch die Verhältnismässigkeit der physikalischen Eigenschaften von Luft und Wasser in ein theoretisches Modell übertragen. Die Ergebnisse wurden durch Sebastian Schreier im Rahmen einer studentischen Arbeit zusammengeführt und nachfolgend im wesentlichen mit ihm dargestellt.

Versuchsdurchführung allgemein

Modellversuche für ein Fahrzeug unter Segel waren an der Universität bis dato ein Novum. Der Windkanal selbst wurde erst 2001 dem Lehrstuhl übergeben.

Die Modelle wurden zunächst für die Messungen vorbereitet. Anhand von Vorversuchen wurden geeignete Messmethoden sowie Versuchsparameter und deren Messbereiche festgelegt, um reproduzierbare Ergebnisse sicherzustellen.

Nachdem diese Vorarbeiten abgeschlossen waren, konnten die Hauptuntersuchungen mit den Kräftermessungen am Über- und Unterwasserschiff durchgeführt werden. Die Auswertung erfolgte zunächst für beide Modelle getrennt. Die Ergebnisse wurden in der Form von Kräfte- und Momentenbeiwerten dargestellt. In einem weiteren Schritt wurden die gewonnenen Ergebnisse mit den Aussagen über die Vortriebs-eigenschaften des zukünftigen Originals zusammengeführt und mögliche Fahrtzustände berechnet. Dabei wurde immer von einem aufrecht schwimmenden Schiff ohne Trimm, Krängung und dynamische Tiefertauchung ausgegangen, um den Versuchsaufwand zu begrenzen.

Weitere Grundannahmen waren ein über die Höhe konstantes Windgeschwindigkeitsprofil und ruhendes Wasser ohne Strömung und Seegang.

Aus den Messergebnissen wurden Empfehlungen für den Bau der Großausführung abgeleitet.

Messungen am Überwasserschiff

Bei stationären Bewegungen von Körpern in Fluiden ist nur die Relativbewegung zwischen Fluid und Körper für die Ausbildung der Umströmung und die daraus resultierenden Kräfte auf den Körper zu betrachten. Diese Tatsache wird bei Messungen im Windkanal ausgenutzt. Im Fall eines Segelschiffes bedeutet das, dass die im Windkanal erzeugte Luftströmung auf das fest stehende Modell in der Messstrecke trifft und dieses umströmt. Betrachtet man das Modell im Vergleich mit der Großausführung, stellt die Strömung im Windkanal den scheinbaren Wind v_r dar, der auf dem fahrenden Schiff beobachtet werden kann. Der wahre Wind v_a , der gegenüber einem raumfesten Koordinatensystem gemessen werden kann, ergibt sich aus der vektoriellen Addition der Schiffsgeschwindigkeit v_s im raumfesten System und dem scheinbaren Wind relativ zum Schiff. Diesen Zusammenhang zeigt die folgende Abbildung:

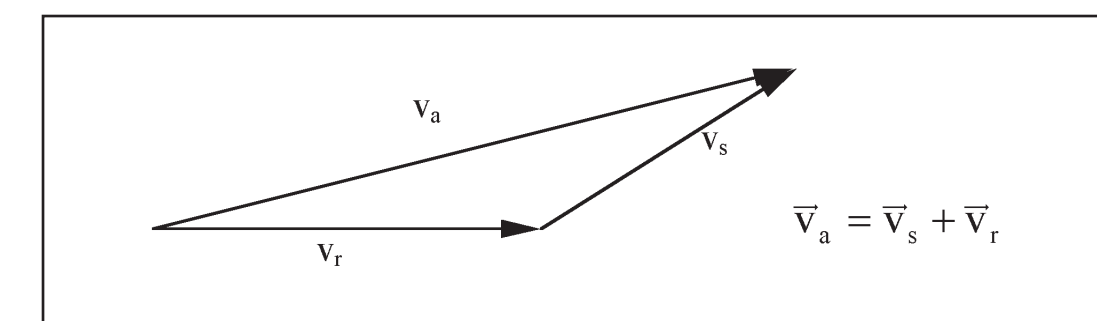


Abb. 15: Schiffgeschwindigkeit, scheinbarer und wahrer Wind.

Der Windkanal

Die Messungen am Überwasserschiff wurden im Windkanal des Lehrstuhls für Meerestechnik der Universität Rostock durchgeführt. Diese Einrichtung ist ein Windkanal Göttinger Bauart mit einem quadratischen Messquerschnitt von 1,4 m x 1,4 m und einer Länge der Messstrecke von 2,8 m. Die maximal erzeugbare Windgeschwindigkeit beträgt 64 m/s. Zur Durchführung von Messungen an Überwasser-Modellen ist im Messbereich eine horizontale Platte in einem Abstand von 20 cm über der Düsenunterkante angebracht. Diese Platte dient als simulierte Wasseroberfläche, über der ein über die Höhe konstantes Windgeschwindigkeitsprofil anzutreffen ist.

¹ Schriftliche Mitteilung des Bearbeiters an den Auftraggeber.

Die Grenzschicht, die sich von der Düse ablöst und an der Strahlgrenze zur unbewegten Umgebung ausbildet, wird damit vom Messobjekt ferngehalten. Unter der Platte ist eine 6-Komponenten-Waage angeordnet, mit der die Kräfte gemessen werden, die vom Wind auf das Modell ausgeübt werden. Die Waage ist strömungsgünstig verkleidet, um Fremdeinflüsse der Strömung auf die Waage zu vermeiden. Weiterhin ist die Waage mit einem Drehteller mit einem selbsthemmenden Schneckentrieb und einer Gradskala ausgestattet, der es ermöglicht, den Anstellwinkel des angebauten Messobjektes zur Zuströmung definiert einzustellen. Zur Aufnahme von Messobjekten ist an dem Drehteller ein vertikal angeordneter Zylinder angebracht, der in einem Ausschnitt der simulierten Wasseroberfläche endet. Die gesamte Steuerung des Kanals erfolgt rechnergestützt.

Das Modell des Überwasserschiffs

Das Modell des Überwasserschiffs wurde im Maßstab 1:50 aus Holz gebaut. Der Rumpf entstand in Spantbauweise, die Kastelle wurden aus Massivholz erstellt. Um nur das Überwasserschiff zu erhalten, wurde das fertige Modell in der Wasserlinie durchgesägt und der Sägespalt mit einer Sperrholzplatte verschlossen. Vom Rigg wurden Mast und Klüver dargestellt, sowie das stehende Gut mit Wanten, Vor- und Achterstag. Der Masttopp wird vom Krähenneest und dem Kreuz als Rechtszeichen gekrönt. Das stehende Gut ist knapp unterhalb des Krähenneestes am Mast angeschlagen. Zum Dichtsetzen wurden an den jeweiligen unteren Enden kleine Seilspanner aus Kunststoff angebracht. Für das stehende Gut wurde eine Polyamidschnur mit 1,5 mm Durchmesser verwendet.

Die Segel und das laufende Gut

Für das Koggenmodell standen vier Rahsegel zur Untersuchung zur Verfügung. Im Original sollen die unterschiedlichen Segelgrößen durch waagerechte Tuchstreifen realisiert werden, die an das Unterliek des jeweils kleineren Segels, als sogenannte Bonnets, angeschlagen werden. Im Modell wurde dies durch vier einzelne Segel unterschiedlicher Höhe und gleicher Breite dargestellt. Dadurch konnte das gesamte laufende Gut an den entsprechenden Segeln verbleiben und stand bei einem Segelwechsel immer wieder in der Ausgangskonfiguration zur Verfügung. Zum Anschlagen der Leinen für die Segelverstellung an den Segeln wurden an den entsprechenden Stellen Kauschen angebracht, um ein Ausreißen der Segel zu verhindern.

Die Segel selbst wurden mit kurzen Tampen am Mast angeschlagen. An laufendem Gut wurden bei allen Segeln Brassen, Schoten und Niederholer gefahren, die beim Großsegel noch durch Bullings ergänzt wurden. Weiterhin wurden die Rahnocken schräg nach oben gegen den Mast verspannt, um ein Schwingen der Rah zu verhindern und die Segel richtig einstellen zu können.

Die Brassen dienen zum Einstellen des Winkels der Rah in der horizontalen Ebene. Mit den Schoten werden die unteren Segelecken, die Schothörner, eingestellt. Schoten und Brassen werden nach achtern geführt und auf dem Achterdeck belegt. Die Bullings sind etwa in der Mitte des Seitenlieks am Großsegel angeschlagen und dienen der Einstellung des Segelbauches. Sie werden je nach Segelstellung nach vorn oder achtern geführt und entweder über Holepunkte am Klüver auf dem Hauptdeck oder auf dem Achterdeck belegt. Mit den Niederholern wird das Segel nach unten dichtgeholt und damit ebenfalls die Bauchigkeit des Segels eingestellt.

Die Notwendigkeit der Niederholer ergab sich erst in den Vorversuchen, da sich besonders bei den kleineren Segeln eine zu starke Wölbung in der vertikalen Richtung einstellte. Für die Niederholer wurden die erforderlichen Holepunkte auf dem Hauptdeck direkt vor dem Achterkastell angebracht. Über weitere Führungen wurden sie ebenfalls auf dem Achterdeck belegt. Das laufende Gut wurde aus einer Polyamidschnur mit einem Durchmesser von 1 mm hergestellt.

Beim Anbringen der Kogge an dem Zylinder der Waage wurde der Luftspalt zwischen dem Modell und der Wasseroberfläche mit Unterlegscheiben möglichst klein eingestellt.

Weiterhin war die Nachgiebigkeit der Waage zu beachten, durch die das Modell unter Last auch geringfügige Kippbewegungen ausführte, die nicht zum Anliegen der Kogge an der Wasseroberfläche führen durften. Aus diesen Forderungen ergab sich ein Luftspalt von etwa 2 mm.

Durch die Zähigkeit der Luft bildet sich bei einer Anströmung des Messobjektes auch auf der simulierten Wasseroberfläche eine Grenzschicht aus. Wenn diese am Ort des Modells dicker ist als der Luftspalt, wird eine Durchströmung des Luftspaltes verhindert.

Daher wirkt sich der Luftspalt nicht nachteilig auf die Messungen aus und verfälscht die Umströmung des Modells nicht. Dies wurde mit einer Fadensonde nachgewiesen. Vor dem Befestigen des Modells in der Messstrecke wurde am Drehteller der Waage ein Winkel von 0° eingestellt. Nun wurde die Kogge mit dem Bug in Richtung der Düse mit der Schiffslängsachse parallel zur Anströmrichtung ausgerichtet. Der im folgenden am Drehteller abgelesene Winkel ist damit der Anströmwinkel ε des scheinbaren Windes zur Schiffslängsachse.

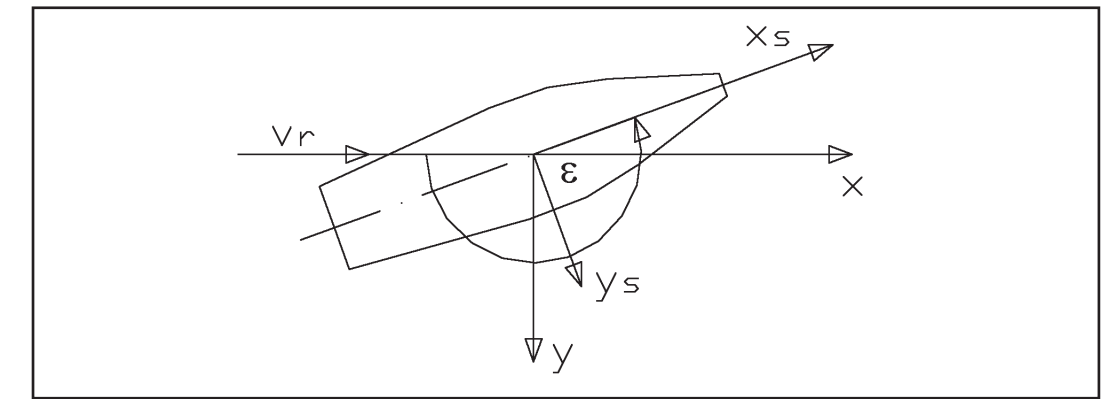


Abb. 16: Definition des Anströmwinkels ε

Das laufende Gut wurde durch Lüsterklemmen, die vorher gegen Klippklammern ausgetauscht wurden, festgelegt. Die Klippklammern boten keinen genügenden Halt im Wind. Durch farbliche Kennzeichnung an den Leinen konnten die Belegpunkte des Gutes exakt an den Lüsterklemmen festgestellt und nach den Versuchen durch den Bearbeiter vermessen werden.

Von diesen Lüsterklemmen wurden auf dem Achterdeck und vorn auf dem Hauptdeck jeweils eine Leiste angebracht.

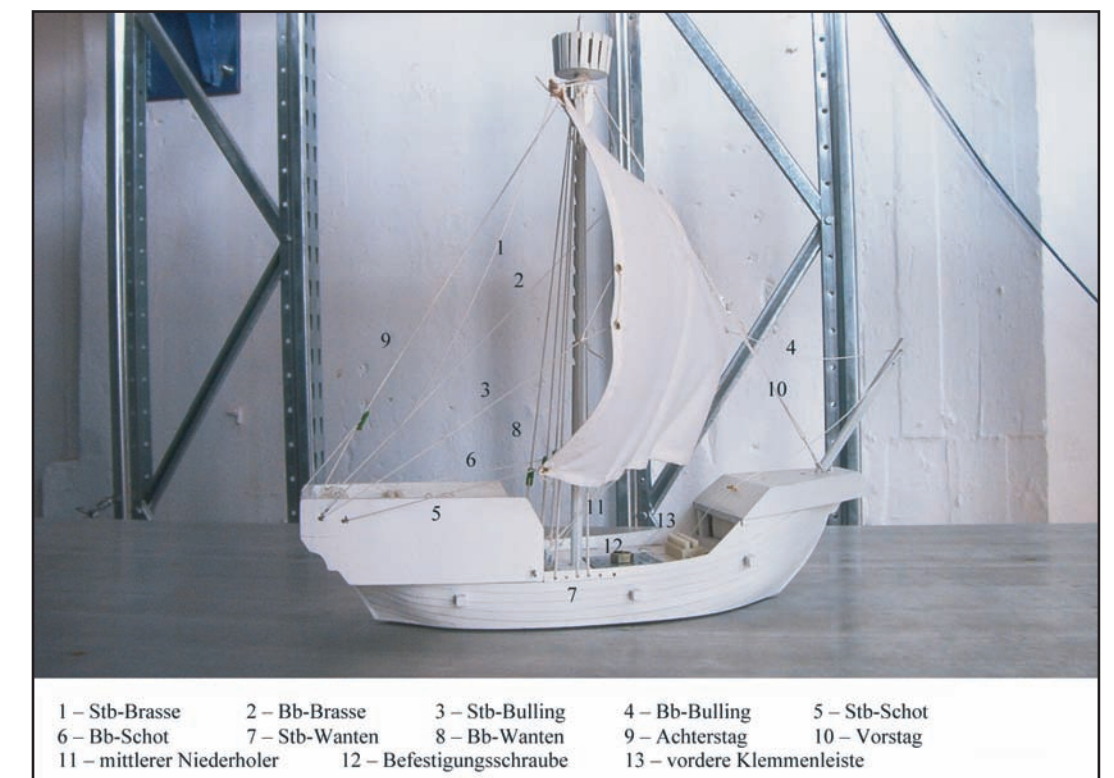


Abb. 17: Modell der Kogge mit vollständigem Rigg

Die ursprünglich vorgesehenen Klipse wurden zum Zusammenhalten der aufgeschossenen Tampen verwendet. Durch die Platzierung der Klemmenleisten auf dem Achterdeck und vorn auf dem Hauptdeck lagen sie im Bereich der Totgebiete und hatten somit keinen Einfluss auf die Messergebnisse.

Festlegung der Windgeschwindigkeit

Bei der Umströmung von Körpern, bei denen die Reibung den maßgeblichen Anteil am Gesamtwiderstand ausmacht, hängt die Ausbildung der Umströmung wesentlich von dem Verhältnis der Zähigkeitskräfte und der Trägheitskräfte ab.

Dieses Verhältnis wird in der Strömungsmechanik durch die Reynoldszahl ausgedrückt.

$$\text{Re} = \frac{v_{\infty} L}{\nu}$$

Darin ist v_{∞} die Geschwindigkeit der ungestörten Anströmung, L eine charakteristische Länge und ν die kinematische Viskosität des Fluids.

Derartige Körper weisen keine ausgeprägten Kanten auf, an denen die Strömung abreißt. Daher wird die Umströmung und damit die Kraft auf den Körper von der Ausbildung der Grenzschicht, also dem Geschwindigkeitsprofil über der angeströmten Oberfläche, stark beeinflusst. Die Charakteristik der Grenzschicht, laminar oder turbulent, hängt entscheidend von der Reynoldszahl ab. Daraus ergibt sich die Forderung, Modellversuche an den beschriebenen Körpern mit gleichen Reynoldszahlen durchzuführen, mit denen sich auch die Großausführungen bewegen.

Aus der Forderung nach gleichen Reynoldszahlen im Versuch und im Original ergibt sich eine Beziehung für die Geschwindigkeit des Modells.

$$\text{Re}_M = \text{Re}_S$$
$$\frac{v_M L_M}{\nu_M} = \frac{v_S L_S}{\nu_S} \Rightarrow v_M = v_S \frac{L_S}{L_M} \frac{\nu_M}{\nu_S}$$

Abb. 18: Der Index M steht für das Modell, mit dem Index S wird die Großausführung bezeichnet.

Werden die Modellversuche im gleichen Medium durchgeführt wie mit dem Original, muss die Modellgeschwindigkeit mit dem Verhältnis der charakteristischen Längen, sprich dem Maßstabsfaktor, zunehmen. Das Modell des Überwasserschiffes wurde im Maßstab 1:50 gebaut. Bei einer angenommenen Windgeschwindigkeit im Original von 10 m/s, entsprechend etwa 6 Bft, ergibt sich damit eine Geschwindigkeit von 500 m/s im Modell. Das entspricht 1800 km/h.

Diese Geschwindigkeit liegt deutlich über der Schallgeschwindigkeit, wodurch die Strömungen an Großausführung und Modell ohnehin nicht mehr vergleichbar sind. Die Luft kann bei dieser Geschwindigkeit bei weitem nicht mehr als inkompressibel angesehen werden. Die bei so großen Geschwindigkeiten auftretenden Kräfte würden das Modell und die gesamte Versuchseinrichtung sofort zerstören.

Der Rumpf und die Aufbauten haben deutliche Abrisskanten, so dass deren Umströmung als unabhängig von der Reynoldszahl anzusehen ist. Bei den Segeln hingegen kann nicht von vornherein gesagt werden, wie sie umströmt werden. Dies hängt im wesentlichen vom Anströmwinkel und der Wölbung der Segel ab. Bei relativ kleinem Winkel zwischen der Anströmung und der Sehnenrichtung des Segels ist der Auftrieb am Segel der wesentliche Anteil für den Vortrieb des Schiffes. Die Charakteristik der Umströmung hängt dann von der Reynoldszahl ab. Bei größeren Anströmwinkeln bilden die Liektaue des Segels definierte Abrisskanten. In diesem Fall ist die Umströmung der Segel unabhängig von der Reynoldszahl und der Vortrieb entsteht aus Widerstand des Segels.

Die Festlegung der Geschwindigkeit muss aus technologischen Gründen so erfolgen, dass gut messbare Kräfte entstehen, die vom Messobjekt problemlos ertragen werden können. Bei Kräften in der Größenordnung von 10 N ergab sich eine Geschwindigkeit von $v_r=10$ m/s. Dieser Belastung hielt das Modell ohne weiteres stand.

Ermittlung der Versuchsparameter

Um ein gewünschtes Ziel zu erreichen, zu dem der absolute Wind eine differierende Richtung aufweist, sind Ruderwinkel und Segeleinstellung die variablen Größen zur Erreichung des Zielortes in möglichst kurzer Zeit. Für das Überwasserschiff ist damit die Segeleinstellung ein wesentlicher Parameter.

Aus der Differenz zwischen dem absoluten Wind und der Schiffsgeschwindigkeit ergibt sich der scheinbare Wind, der im Windkanal simuliert wird. Zu Beginn der Versuche war nicht bekannt, bei welcher Anströmung die verschiedenen Segel im Zusammenwirken mit dem Schiff einen optimalen Vortrieb erzeugten. Daher musste für die einzelnen Segeleinstellungen auch die Richtung des scheinbaren Windes variiert werden.

Die Segeleinstellung und die Richtung der Anströmung beeinflussen somit die Größe und die Richtung der resultierenden Kraft vom Wind auf das Schiff und damit im Zusammenspiel mit dem Unterwasserschiff Kurs und Geschwindigkeit.

Die Einstellung der Segel bietet eine Vielzahl einzelner Eingriffsmöglichkeiten:

1. Winkel der Rah zur Schiffslängsrichtung, als Grundeinstellung mit den Brassen
2. die Ausrichtung des Unterlieks, die im Wesentlichen durch die Schoten beeinflusst wird,
3. die Einstellung der Bauchigkeit durch die Niederholer und gegebenenfalls durch die Bullings.

Es wurde schnell ersichtlich, dass eine objektive Beurteilung und Entscheidung zwischen verschiedenen Einstellungen des Segels bei gleicher Rahstellung nur schwer möglich sein würde. So kam erschwerend hinzu, dass die Veränderung einzelner Leinen für einen guten Segelstand Korrekturen an mehreren Segeleinstellungen gleichzeitig erforderte. Unter dem Gesichtspunkt der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse kam der sicheren und eindeutigen Fixierung der optimalen, subjektiv bemessenen Segeleinstellungen über die farblich gekennzeichneten Leinen eine große Bedeutung zu.

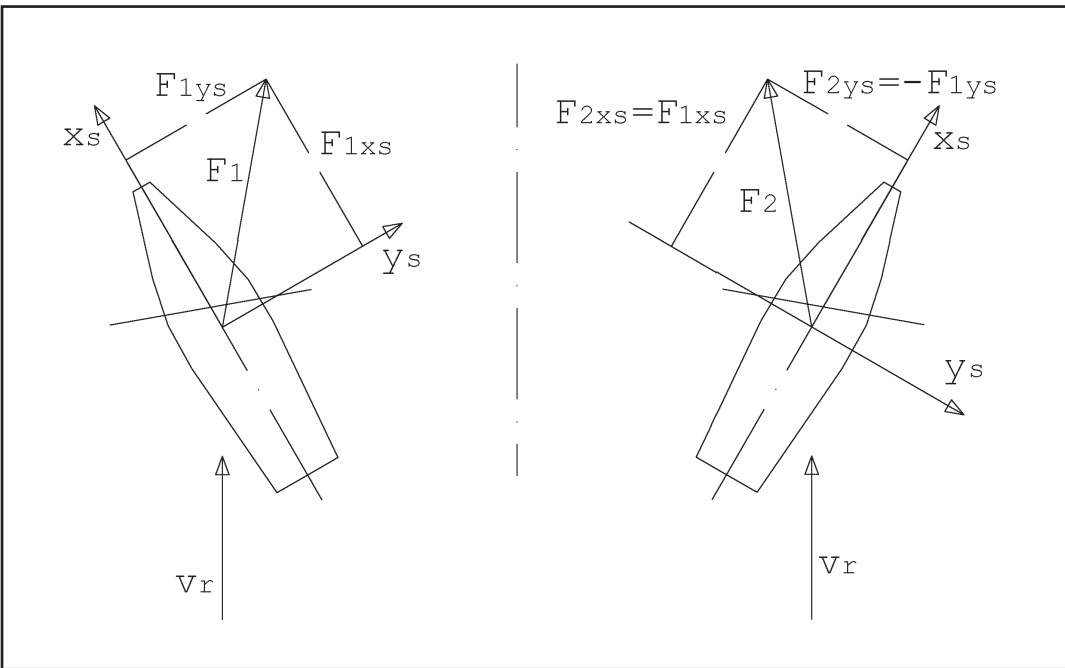


Abb. 19: Übertragbarkeit der resultierenden Kraft

Aufgrund der Symmetrie des Schiffes wurden Messungen und Auswertung nur mit Veränderungen der Rahstellung nach Steuerbord durchgeführt; sie sind auf Backbord übertragbar.

Um die Anzahl der durchzuführenden Messungen zu begrenzen, wurde für den Rahwinkel eine Schrittweite von 20° nach Steuerbord festgelegt. Den Endpunkt stellte dabei das Anliegen der Rah an die Wanten dar.

Der Anströmwinkel des scheinbaren Windes zur Schiffslängsachse wurde am Drehteller der Waage eingestellt und abgelesen. Die Schrittweite wurde mit 10° festgelegt. Ausgehend von einer Anströmung senkrecht zur Rah sollte der Anströmwinkel in beide Richtungen variiert werden, bis das Segel zu killen begann. Dieser Zustand markierte das Ende einer Messreihe, da bei normalem Segeln mit der Großausführung ein Killen der Segel unbedingt zu vermeiden ist. Das Segel liefert unter diesen Bedingungen keinen definierten Vortrieb mehr.

Daraus ergaben sich die folgenden Versuchsparameter:

- Segelstellung (Rahstellung)
 - Längen der Segelverstelleinen
- Anströmwinkel des scheinbaren Windes

Erfassen der Segelstellung

Die Segel wurden jeweils mit einem kurzen Tampen in der Mitte der Rah auf der Vorderseite des Mastes angeschlagen. Die Höhe der Rah am Mast ergab sich aus der Festlegung für die Mindesthöhe des Unterlieks von 3 m ohne Wind um die Sichtachsen bei Manövern freizuhalten. Im Modell wurde in Höhe von 6 cm über dem Hauptdeck am Mast eine Markierung angebracht, an der das Unterliek beim Anschlagen der Segel ausgerichtet wurde. Anschließend wurde die Rah mit kurzen Leinen von den Nocks gegen den Anschlagpunkt der Wanten am Mast verspannt und dabei horizontal ausgerichtet. Durch diese Verspannung wurde ein Pendeln der Rah unterbunden und weiterhin die Rah zusätzlich in der Höhe am Mast fixiert. Nach der Befestigung des Segels am Mast wurden die einzelnen Leinen zur Segelverstellung über die jeweiligen Holepunkte zu den Befestigungspunkten geführt und dort belegt. Die Lage der Holepunkte wurde dokumentiert.

Einstellung der Segel

Die Einstellung der Segel erfolgte in mehreren Schritten. Zunächst wurde die Rah mit den Brassen in die vorgesehene Stellung gebracht. Dabei war die Messung des Brasswinkels δ_b (s. Abb. 20) problematisch, da in der Höhe der Rah keine Bezugslinie für eine Winkelmessung zur Verfügung stand. Deshalb erfolgte die Messung des Brasswinkels durch eine senkrecht über dem Modell in der Messstrecke angebrachte Videokamera. Das Videosignal wurde an einen Monitor übertragen, auf dem die Rahstellung nun in der Ebene durch eine Klarsichtfolie mit Linien für die Schiffslängsachsen betrachtet werden konnte, aus dem sich der Brasswinkel leicht ableiten liess.

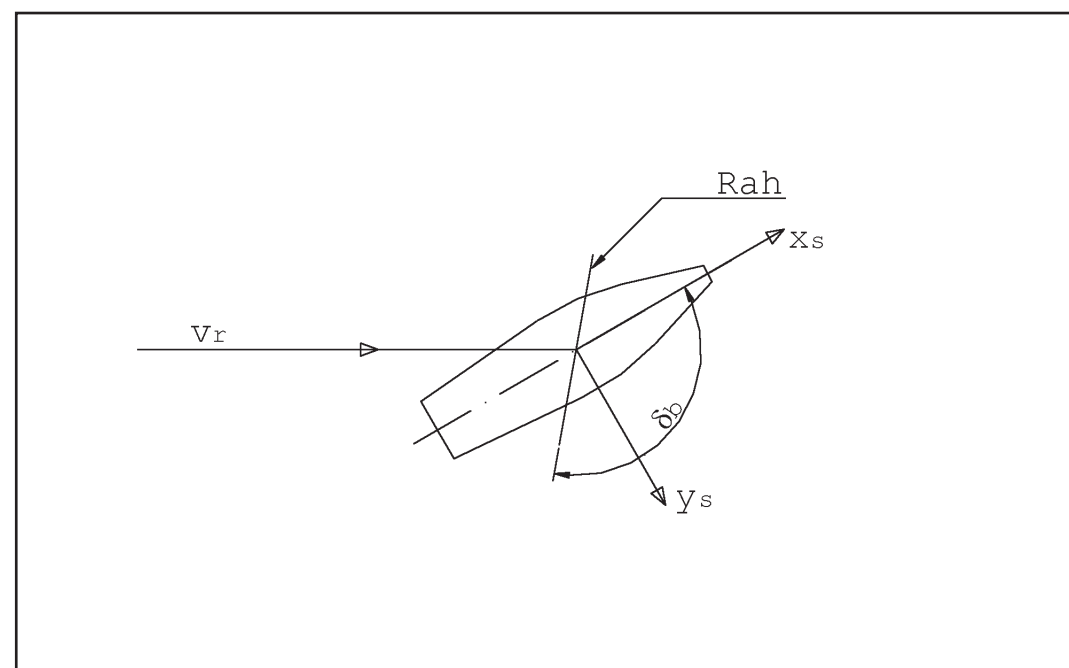


Abb. 20: Brasswinkel δ_b

Die Kogge wurde längs zur Strömung ausgerichtet und die vorbereitete Folie parallel zur Schiffslängsachse so vor der Mattscheibe des Monitors befestigt, dass der Schnittpunkt der kreuzenden Linien auf der Folie mit dem angezeigten Drehpunkt der Rah am Mast übereinstimmte. Nun wurde die Rah mit den Brassen so eingerichtet, dass sie im Videobild parallel zur eingezeichneten Winkellinie auf der Folie stand.

Für die Einstellung der Schoten und Niederholer und gegebenenfalls der Bullings wurde die Kogge mit dem Drehteller der Waage so eingestellt, dass die Rah senkrecht zur Strömungsrichtung stand. Durch Justierung dieses Gutes bei einer Windgeschwindigkeit von $v_r=5$ m/s ergab sich ein gut ausgewehter Segelstand. Durch beigebrachte Expertise des Schiffbauers der Nachbauten des Ukranelandes, Dirk Krotz wurde ein subjektiv bemessener, optimaler Segelstand festgelegt. Die Windgeschwindigkeit wurde mit 5 m/s kleiner als die geplante Messgeschwindigkeit von 10 m/s gewählt, da zum Einstellen der Segel im direkten Luftstrahl des Windkanals gearbeitet werden musste.

Nachdem bei $v_r=5$ m/s ein befriedigendes Bild erzielt wurde, wurde die Geschwindigkeit bis auf die Messgeschwindigkeit mit $v_r=10$ m/s erhöht und der Segelstand erneut kontrolliert. Im allgemeinen waren nun durch die veränderte Belastung am Segel noch kleinere Veränderungen an einzelnen Leinen vorzunehmen, um das Segel den veränderten Bedingungen anzupassen, die Segelverstellleinen wurden je nach Einstellung farblich unterschiedlich markiert, um später die Länge der Leinen bis zu diesen Punkten erfassen zu können. Die bei der senkrechten Anströmung auf das Segel gefundene Einstellung wurde über die gesamte Messung mit Variation des Anströmwinkels, wie bei der Grossausführung auch, beibehalten. Dies war für die Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der verschiedenen Zustände wesentlich.

Verwendete Messtechnik

Die Messungen der resultierenden Kraft und des resultierenden Momentes erfolgte mit einer 6-Komponenten-Waage. Mit dieser Messeinrichtung konnten drei vertikale, zwei horizontale und eine weitere horizontale Kraftkomponente senkrecht zu den beiden vorgenannten gemessen werden. Über das Kräftegleichgewicht an der Waage konnten aus den gemessenen Kräften die Komponenten der resultierenden Kraft in den drei Raumrichtungen sowie bei bekannter Geometrie der Waage die Komponenten des resultierenden Momentes berechnet werden. Abbildung 21 zeigt die Kräfte und Momente an der Waage sowie die wichtigsten Abmessungen.

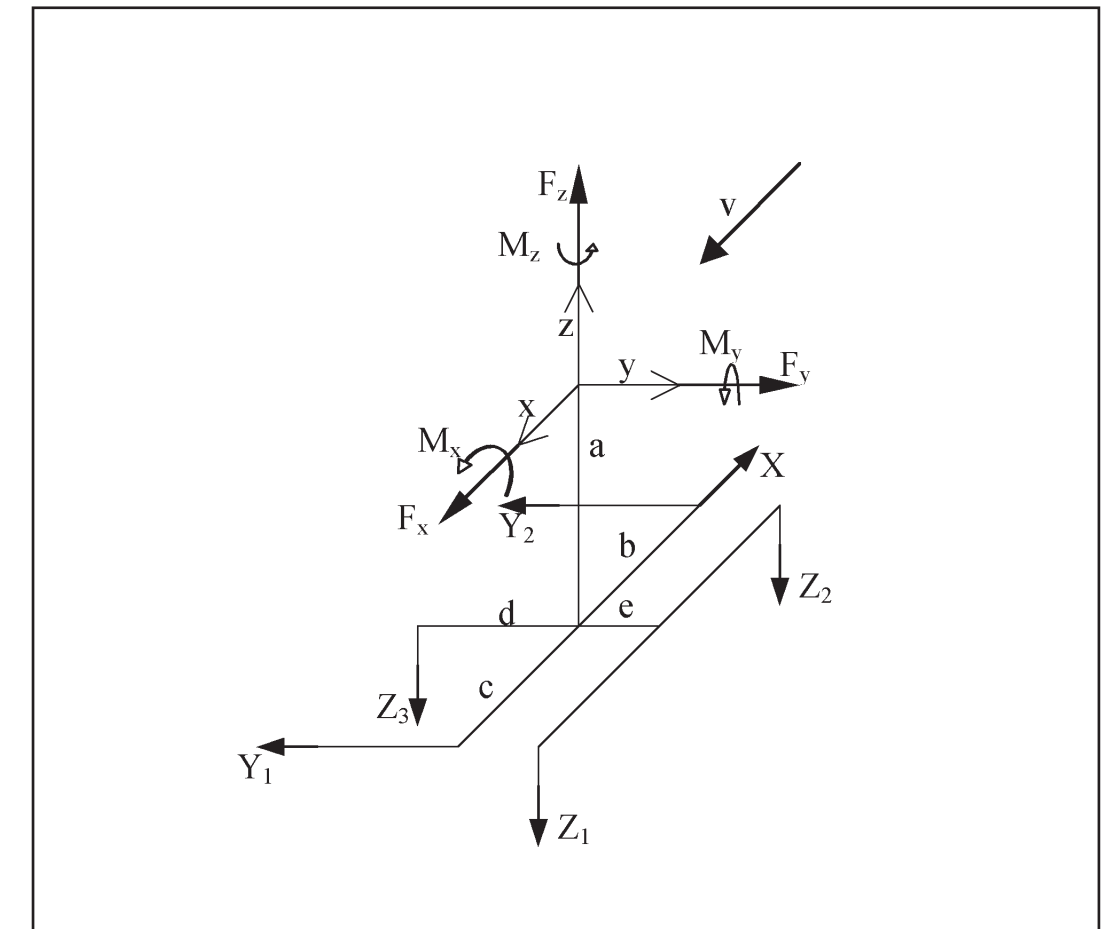


Abb. 21: Kräfte und Momente an der freigeschnittenen Waage im raumfesten Koordinatensystem, Geometrie der Waage

Die mit X , $Y_{1,2}$ und $Z_{1,2,3}$ bezeichnete Kräfte werden an der Waage gemessen. Da der Ursprung des raumfesten Koordinatensystems in den Aufhängepunkt des Messobjektes gelegt wurde, ergeben sich aus dem Kräfte- und Momentengleichgewicht die folgenden Gleichungen für die Kräfte F_i und Momente M_i am zu untersuchenden Modell.

$$\begin{aligned} F_x &= X & M_x &= (Z_1 + Z_2) \cdot e - Z_3 \cdot d + (Y_1 + Y_2) \cdot a \\ F_y &= Y_1 + Y_2 & M_y &= Z_2 \cdot b - Z_1 \cdot c - X \cdot a \\ F_z &= Z_1 + Z_2 + Z_3 & M_z &= Y_1 \cdot c - Y_2 \cdot b \end{aligned}$$

Die Messung der Kräfte erfolgte mit Kraftmessdosen, deren Signale an ein Messsystem MGC von Hottinger Baldwin Messtechnik übertragen wurden. Das MGC war mit einem Rechner verbunden, der das Auslesen der einzelnen Kanäle übernahm. Die Kanalbelegung wurde in Abbildung 22 dargestellt. Da die Waage ursprünglich im Rundlaufkanal eingebaut war und nun über Kopf verwendet wurde, mussten die vorgesehenen Öldämpfer ausgebaut werden, da diese sonst ausgelaufen wären. Das MGC bot jedoch die Möglichkeit, die Messsignale auf elektronischem Weg mit einem Tiefpass zu filtern. Bei der Filterung werden Schwingungen mit Frequenzen größer einer Grenzfrequenz durch den Tiefpass unterdrückt. Das bedeutet auch, dass eine sprunghafte Änderung des Eingangssignals erst nach einer Zeit, die dem Kehrwert der Grenzfrequenz entspricht, mit ihrem vollen Wert übertragen

wird. Im Windkanal wurde quasistationär gemessen. Daher konnte mit 0,2 Hz eine sehr niedrige Grenzfrequenz eingestellt werden, da keine dynamischen Effekte erfasst werden sollten. Die erforderliche Einstellzeit von mindestens 5 Sekunden für die neuen Messwerte nach Veränderungen in der Messstrecke wurde verfahrensbedingt eingehalten. Das Auslesen der einzelnen Kanäle auf dem angeschlossenen Rechner erfolgte mit dem Programm »Messung.exe«, das bis zu 75 Messwerte je Kanal aufnehmen und in einer Datei ablegen kann. Dabei besteht die Möglichkeit, das Zeitintervall zwischen zwei Einzelmessungen vom Anwender vorzugeben.

Kanal	1	2	3	4	5	6
gemessene Kraft	Z ₃	Z ₂	Z ₁	Y ₂	Y ₁	X

Abb. 22: Kanalbelegung am MGC

<i>Messtechnik am Windkanal</i>

Für die Auswertung der gemessenen Kräfte an der Waage war die Bestimmung der Windgeschwindigkeit v_r und der Dichte ρ_L der Luft erforderlich. Aus der Strömungsmechanik ist bekannt, dass Luft bei Geschwindigkeiten, die viel kleiner sind als die Schallgeschwindigkeit, als inkompressibles Fluid betrachtet werden kann. Diese Bedingung wurde während der durchgeführten Versuche eingehalten. Somit wurde mit der Bernoulli-Gleichung für inkompressible Strömungen zur Berechnung der Windgeschwindigkeit in der Messstrecke aus dem Differenzdruck über der Düse des Windkanals und der Dichte der Luft gearbeitet.

$$p_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2 = p_2 + \frac{\rho}{2} v_r^2 \quad \Rightarrow \quad \Delta p = p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} (v_r^2 - v_1^2)$$

Bernoulli-Gleichung

Da die Luft in der Thermodynamik bei einem verhältnismäßig geringen Druck wie dem atmosphärischen Luftdruck als ideales Gas beschrieben wird, konnte die Dichte der Luft mit Hilfe der thermischen Zustandsgleichung idealer Gase berechnet werden. Daraus ergibt sich, dass am Windkanal der statische Druck vor und nach der Düse, der Luftdruck außerhalb und die Temperatur im Luftstrom gemessen werden mussten. Die Temperatur wurde ebenfalls elektronisch mit einem Widerstandsthermometer vom Typ Pt100 erfasst.

Die Signale der einzelnen Geber wurden über eine galvanische Trennung und eine A/D-Wandlerkarte ebenfalls dem Messrechner zugeführt. Damit konnten alle Messwerte erfasst und bereits intern verarbeitet werden. So wurde die Berechnung der Dichte und Geschwindigkeit von dem bereits bestehenden Programm „Mess.exe“ automatisch ausgeführt.

<i>Programm „Mess.exe“</i>

Dieses Programm diente der vollständigen Durchführung von Einzelmessungen. Nach dem Programmstart wurde vom Anwender der Anströmwinkel ε (im Programm mit „beta“ bezeichnet) eingegeben. Danach wurden zunächst die Umgebungsdaten Lufttemperatur und der Luftdruck gemessen sowie über einen Zeitraum von etwa 10 Sekunden 9000 Werte des Düsendifferenzdruckes eingelesen und daraus ein Mittelwert gebildet. Diese zeitliche Mittelung verhinderte zu große Schwankungen der Messergebnisse durch zufällige Störeinflüsse.

Aus diesen Daten wurden wie oben beschrieben die Dichte der Luft und die Windgeschwindigkeit berechnet. Danach erfolgte das Einlesen der Messwerte vom MGC. Dabei wurden 50 Messwerte je Kanal aufgenommen und daraus der Mittelwert gebildet. Auch hier dient die Mittelung wieder der Minimierung zufälliger Fehler. Abschließend wurden erneut die Umgebungsdaten eingelesen sowie Dichte und Geschwindigkeit berechnet. Um eventuellen leichten Veränderungen über die Dauer der Messung an der Waage Rechnung zu tragen wurden nun die Mittelwerte von Lufttemperatur, Luftdruck, Düsendifferenzdruck, Dichte und Geschwindigkeit gebildet. Zusammen mit der Zeit der Messung erfolgte die Ausgabe der gemittelten Messwerte der Umgebungsdaten sowie der gemessenen Kräfte in eine Datei. Das Programm berechnete aus den gemessenen Kräften und den in einer weiteren Datei abgelegten Geometriedaten der Waage zusammen mit dem Anströmwinkel sowohl die Kräfte im raum-festen als auch im schiffsfesten Koordinatensystem.

<i>Durchführung der Messungen</i>

In der Strömungsmechanik ist es üblich, Kräfte, die von einem Fluid auf eine Struktur ausgeübt werden, als Produkt von Beiwerten c mit dem Staudruck der Anströmung

$$p_{\text{stau}} = \frac{\rho}{2} v_\infty^2$$

und einer charakteristischen Fläche A des Körpers darzustellen. Im Fall von Momenten kommt zu dem Produkt noch eine charakteristische Länge l hinzu.

$$F = c_F \cdot \frac{\rho}{2} v_\infty^2 A \quad , \quad M = c_M \cdot \frac{\rho}{2} v_\infty^2 A l$$

Daraus ergeben sich die dimensionslosen Beiwerte aus der Umstellung der vorgenannten Gleichungen.

$$c_F = \frac{F}{\frac{\rho}{2} v_\infty^2 A} \quad , \quad c_M = \frac{M}{\frac{\rho}{2} v_\infty^2 A l}$$

Diese Beiwerte sind im allgemeinen abhängig von der Form des umströmten Körpers sowie von der Charakteristik der Strömung und damit von der Reynoldszahl. Für den Fall, dass die Umströmung unabhängig von der Reynoldszahl ist, sind die Kräfte und Momente am gleichen Modell proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit. Dieser Zusammenhang wird als quadratisches Widerstandsgesetz bezeichnet. Ohne den Einfluss der Reynoldszahl sind die Beiwerte nur noch abhängig von der Form des umströmten Körpers. Bei dem Vergleich geometrisch ähnliche Körper, also auch von maßstabsgetreuen Modellen und deren Großausführung, sind die Beiwerte identisch. Die Skalierung der mit ihrer Hilfe berechneten Kräfte und Momente erfolgt über den Staudruck sowie die charakteristischen Abmessungen. Das Ziel der durchgeführten Messungen war die Berechnung der Kraft- und Momentenbeiwerte im schiffsfesten Koordinatensystem. Diese Werte sollen auf die Großausführung übertragen werden, um zusammen mit den Ergebnissen der Messungen am Unterwasserschiff Aussagen über die Leistungsfähigkeit der Kogge zu gewinnen.

Die Aufnahme einer Messreihe folgte immer einem Schema. Nachdem die Kogge in der Messtrecke befestigt und mit dem Anströmwinkel $\varepsilon=0^\circ$ ausgerichtet war, wurde das Segel, sofern erforderlich, angeschlagen bzw. mit dem Brasswinkel $\delta_b=90^\circ$ zum Schiff ausgerichtet. In dieser Modellkonfiguration und bei $v_r=0$ wurden alle Kanäle der Waage auf null abgeglichen. Nun folgte eine Nullmessung ohne Anströmung. Anschließend wurden die Messungen bei Wind mit verschiedenen Segeleinstellungen und Anströmwinkeln durchgeführt. Dabei wurde der Anströmwinkel mit einer Schrittweite von 10° variiert.

Den Abschluss jeder Messreihe bildete eine erneute Nullmessung bei $v_r=0$, $\varepsilon=0^\circ$ und $\delta_b=0^\circ$, um eine eventuelle Drift der Messwerte über die Zeit zu erfassen.

Gewichtseinfluss

Die Schwimmlage eines unbewegt im ruhenden Wasser schwimmenden Schiffes stellt sich stets so ein, dass das Schiff frei von resultierenden Kräften und Momenten ist. Da ohne die Wirkung von Strömung und Wind keine Kräfte in horizontaler Richtung am Schiff angreifen, bleibt als einzige Kraft die Gewichtskraft in vertikaler Richtung. Nach dem Prinzip von Archimedes wird diese Kraft gerade vom hydrostatischen Auftrieb ausgeglichen. Aus dem horizontalen Momentengleichgewicht ergibt sich, dass der Auftriebsschwerpunkt und der Massenschwerpunkt senkrecht übereinander stehen. Eine Drehung des Schiffes um seine Hochachse verändert die Schwimmlage nicht.

Da der Massenschwerpunkt des Modells nicht in einer senkrechten Linie über dem Aufhängepunkt lag, erzeugte die Gewichtskraft des Modells mit dem Abstand zwischen dem Aufhängepunkt und ihrer Wirkungslinie ein Moment.

Die Lage des Massenschwerpunktes war im schiffsfesten Koordinatensystem konstant. Damit blieb auch das resultierende Moment bezüglich des Schiffes unverändert. Eine Drehung des Modells gegenüber der Waage zur Veränderung des Anströmwinkels ϵ bewirkt jedoch, dass sich die Komponenten des Momentvektors im raumfesten Koordinatensystem verändern. Der Betrag des Momentes ist dabei konstant. Dieser umlaufende Momentenvektor führt damit an der Waage zu veränderlichen Kräften $Z_{1/2/3}$ über den Anströmwinkel. Da dieser Effekt unabhängig von der Umströmung der Kogge ist, überlagern sich der Einfluss der Gewichtskraft und der Strömung linear. Somit ist es möglich, von den Ergebnissen der Messungen mit Wind den Einfluss der Gewichtskraft zu subtrahieren und dadurch die reine Wirkung der Strömung auf das Messobjekt zu erhalten.

Zur Erfassung des Gewichtseinflusses wurden Messreihen am Modell ohne Segel sowie mit dem größten und kleinsten Segel aufgenommen. Bei diesen Messreihen wurden ausgehend von $\epsilon=0^\circ$ bei $v_r=0$ alle 10° über eine vollständige Umdrehung des Schiffes um seine Hochachse die Kräfte an der Waage gemessen. Da diese Messungen ohne Wind durchgeführt wurden, waren die Umgebungsdaten der Strömung nicht relevant.

Messungen ohne Segel

Zur vollständigen Vermessung der Kogge wurden auch Messungen der Windkräfte am Überwasserschiff ohne Segel durchgeführt. Mit den Ergebnissen dieser Versuche konnten später die Einflüsse der Besegelung auf die Kräfte bestimmt werden. Zusätzlich zu der Windgeschwindigkeit $v_r=10$ m/s wurde eine Messreihe mit $v_r=20$ m/s aufgenommen.

Mit den Ergebnissen dieser Messreihe wurde im Vergleich mit der Messung bei $v_r=10$ m/s die Unabhängigkeit der Umströmung von der Geschwindigkeit und damit der Reynoldszahl untersucht.

Die Waage weist eine endliche Steifigkeit auf. Daher gibt sie unter Belastung etwas nach. Da bei doppelter Geschwindigkeit mit den vierfachen Kräften gerechnet werden musste, kam gerade bei der höheren Geschwindigkeit der Kontrolle des Luftspaltes eine noch größere Bedeutung zu. Durch die recht lange Verbindung von der Waage zum Modell zeigen schon sehr geringe Neigungen des Drehtellers erkennbare Effekte auf den Luftspalt. Besonders kritisch ist dies, wenn das Modell längs zur Anströmung ausgerichtet ist und die am Modell angreifende Widerstandskraft zu einer Neigung der gesamten Messanordnung in Strömungsrichtung führt. Dabei verringert sich der Luftspalt am leeseitigen Ende des Modells merklich. Um zu vermeiden, dass die Ergebnisse durch das Aufliegen des Modells auf der darunter angeordneten Platte verfälscht werden, muss dies bei einer Erhöhung der Geschwindigkeit kontrolliert werden. Bei $v_r=20$ m/s war die Kogge noch frei von der Platte.

Da zu Beginn dieser Versuche noch nicht bekannt war, in welchen Bereichen des Anströmwinkels die Segel arbeiten würden und auch die Windkräfte auf die Kogge bei Fahrt unter Maschine erfasst werden sollten, wurden diese Messungen über eine volle Umdrehung des Schiffes durchgeführt.

Messungen mit Segeln

Die Messungen mit Segeln stellten den Hauptteil der Messungen im Windkanal dar. Beginnend mit dem Großsegel wurden alle gestellten Segel nacheinander vermessen. Um auch hier einen möglichen Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Beiwerte zu erfassen, wurde jeweils eine Messreihen mit $v_r=10$ m/s und $v_r=15$ m/s für ein Segel bei allen Segelstellungen aufgenommen.

Da die angeströmte Fläche im Vergleich mit dem Modell ohne Segel durch die Segelfläche erheblich vergrößert wurde, ergaben sich auch deutlich größere Kräfte. Weiterhin war bei größeren Geschwindigkeiten die begrenzte Festigkeit des Segelmaterials zu beachten. In der Großausführung werden die Schothörner eingenäht.

Im Gegensatz dazu waren die Kauschen am Modell nur eingeschlagen. Daher war die Gefahr des Ausreißens an den Anschlagpunkte für die Segelverstellleinen besonders groß. Am Großsegel traten aufgrund der größten angeströmten Fläche die größten Belastungen an den Segelverstellleinen auf.

Daher wurde die Geschwindigkeit für die zweite Messreihe mit diesem Segel und unter Beobachtung der kritischen Punkte an den Schothörnern und Niederholern festgelegt. Als mögliche Geschwindigkeit, bei der noch keine Festigkeitsprobleme auftraten, wurde $v_r=15$ m/s ermittelt. Bei dieser Geschwindigkeit traten etwa die doppelten Kräfte auf im Vergleich mit den Messungen bei $v_r=10$ m/s. Auch der Luftspalt war bei $v_r=15$ m/s unkritisch.

Um die Messungen miteinander vergleichen zu können, wurden die zweiten Messungen an den übrigen Segeln ebenfalls mit $v_r=15$ m/s durchgeführt.

Großsegel S1

Die erste Messreihe wurde mit dem Großsegel bei $v_r=10$ m/s aufgenommen. Dazu wurde im beschriebenen Verfahren zunächst das Segel angeschlagen und die Segeleinstellung für $\delta_b=90^\circ$ vorgenommen.

Beide Bullings wurden nach vorn über den Klüver gefahren. Die Ausgangstellung mit der senkrechten Anströmung zum Segel lag in diesem Fall bei $\epsilon=180^\circ$ vor. Nach dem Vermessen dieser Stellung wurde der Anströmwinkel um 10° auf $\epsilon=190^\circ$ erhöht und ohne Veränderungen an den Segelleinen erneut gemessen. So wurde der Anströmwinkel schrittweise erhöht, bis das gesamte Segel zu killen begann.

Da aufgrund der Gefahr für Menschen und Technik in der Großausführung ein Killen des gesamten Segels unbedingt zu vermeiden ist, wurde dieser Zustand als Endpunkt der Messung definiert.

Ein weiteres Erhöhen des Anströmwinkels würde später zum Umschlagen des Segels und zu einer rückwärts gerichteten resultierenden Kraft führen. Beim Segel S1 und $v_r=10$ m/s wurde das killende Segel noch mit vermessen. Dabei zeigte sich beim Übergang vom stehenden zum killenden Segel ein drastischer Abfall des Vortriebs. Damit ist dieser Zustand für eine effektive Fortbewegung ohnehin nicht verwendbar. Da durch das schlagende Segel erhebliche dynamische Lasten auf die Segelverstellleinen und deren Anschlagpunkte wirkten, wurden diese Zustände am Großsegel bei der höheren Windgeschwindigkeit sowie bei allen Messungen an den anderen Segeln nicht mehr mit gemessen. Erfolgte der Umschlag zum Killen während eines Schrittes im Anströmwinkel, wurde dies im Protokoll vermerkt und die Messung abgebrochen.

Nachdem das Segel bei einem Anströmwinkel $\epsilon > 180^\circ$ zu killen begann, wurde wieder der Zustand senkrechter Anströmung eingestellt. Beginnend mit dieser Einstellung wurden nun die Kräfte bei einer Veränderung des Anströmwinkels in negativer Richtung aufgenommen. Auch hierbei stellte das killende Segel den Endpunkt der Messung dar.

Abschließend wurde erneut der Zustand der senkrechten Anströmung vermessen. Mit der mehrmaligen Messung der Kräfte bei $\epsilon = 180^\circ$ konnte gewährleistet werden, dass eventuelle bleibende Veränderungen am Segel durch die Fluid-Struktur-Interaktion über die verschiedenen Anströmwinkel erfasst wurden.

Für die größeren Brasswinkel wurde nun der Steuerbord-Bulling nach achtern über den Holepunkt der Stb-Brasse gefahren und auf dem Achterdeck belegt. Die Segelstellung und Leinenführung bei $\delta_b = 110^\circ$ ist in Abbildung 17 dargestellt. Die relativ großen Falten im unteren Teil des Segels rührten von den Niederholern her, deren Anschlagpunkte am Segel die Ausgangspunkte für die Falten waren. Um diese Falten zu vermeiden, hätte die Niederholer so weit gefiert werden müssen, dass sie wirkungslos geworden wären. Die Einstellung der Segel stellte in jedem Fall einen Kompromiss dar.

Die Messreihen für $\delta_b = 110^\circ$ und $\delta_b = 130^\circ$ wurden nach dem gleichen Muster aufgenommen wie $\delta_b = 90^\circ$. Zunächst wurden bei der senkrechten Anströmung mit $\epsilon = 200^\circ$ bzw. $\epsilon = 220^\circ$ gemessen, anschließend wurden der Anströmwinkel bis zum killenden Segel erhöht, erneut bei senkrechter Anströmung gemessen und der Anströmwinkel ebenfalls bis zum Killen des Segels verringert. Den Abschluss stellte wiederum die senkrechte Anströmung dar. Bei der Einstellung des Segels mit $\delta_b = 130^\circ$ wurde für die Stb-Schot am Achterkastell ein zusätzlicher Holepunkt vor der Durchführung durch das Schanzkleid angebracht. Diese Umlenkung war erforderlich um den Angriffswinkel der Schot am Segel steiler zu gestalten und so das Segel besser zu führen. Dieser Holepunkt wurde auch bei $\delta_b = 150^\circ$ verwendet.

Bei der Segelstellung mit einem Brasswinkel $\delta_b = 150^\circ$ wurde zur Stabilisierung wie bei ähnlichen Großausführungen an Backbordseite eine Vorschot gefahren. Diese wurde zusätzlich zur normalen Schot am Schothorn angeschlagen und vorn unten um den Klüver geführt. Die stabilisierende Wirkung dieser Leine zeigte sich an dem wesentlich größeren Standbereich des Segels bei größeren Anströmwinkeln. Erst bei einer Anströmung längs zum Segel begann es zu killen. Bei dieser Messreihe wurden die zusätzlichen Lasten auf das Rigg durch ein killendes Segel sehr anschaulich: Es führte bei den Schoten zum Lösen der einfachen Knotenverbindungen, die später mit Palstek realisiert wurden.

Nach Abschluss der Versuchsreihe mit $v_f = 10 \text{ m/s}$ wurde die Windgeschwindigkeit auf 15 m/s erhöht und die Messungen wiederholt. Der Vergleich der errechneten Beiwerte bei $v_f = 10 \text{ m/s}$ und $v_f = 15 \text{ m/s}$ zeigt deutlich, wie gut das angewandte Verfahren zum Erfassen der Segelstellung geeignet war. Die Ergebnisse waren im Rahmen der Messgenauigkeit identisch.

Segel	Breite (in mm)	Höhe (in mm)
S1	318	320
S2	318	264
S3	318	210
S4	318	157

Abb. 23: Segelgrößen (Maße in Millimetern)

Segel S2 bis S4

Da die Segeleinstellung über die markierten und später vermessenen Leinenlängen eindeutig fixiert war, wurde die Messmethodik bei den verbleibenden Segelgrößen geringfügig abgewandelt und damit Messzeit gespart. Die Segel S2 bis S4 wurden ohne Bullings gefahren. Auffällig war bei diesen Segeln, dass besonders das Bb-Schothorn bei großen Veränderungen des Anströmwinkels aus der Ausgangslage heraus zur Schiffsmitte ohne Killen des Segels hereinschlug. Da dieser Effekt im Original weitestgehend vermeidbar ist, wurden die Messungen abgebrochen, sobald das Segel nach innen geschlagen war.

Segel S2

Dieses Segel stand bei allen Einstellungen sehr unruhig in der Anströmung, was auf Fehlen der Bullings zurückgeht. Im Gegensatz zum Großsegel wurde die Segelstellung $\delta_b = 150^\circ$ ohne eine Vorschot an Bb-Seite gefahren. Bei dieser Einstellung wurde ein deutlich geringerer Anströmwinkel erreicht als beim Segel S1.

Segel S3

Hier wurde bei $\delta_b = 150^\circ$ ein Vorschot an Bb-Seite gefahren. Bei dieser Einstellung drückte die Rah stark an die Stb-Wanten. So führt diese Einstellung zu Schäden an Wanten oder Rah, und ist beim Segeln mit der Grossausführung zu vermeiden.

Segel S4

Aufgrund seiner geringen Höhe war dieses Segel verhältnismäßig niedrig am Mast angeschlagen. Durch die Geometrie der Wanten liegt die Rah schon bei $\delta_b = 110^\circ$ an der vorderen Stb-Want an. Die letzte messbare Segelstellung war mit $\delta_b = 130^\circ$ gegeben, ist aber für die Grossausführung nicht mehr von Relevanz.

Auswertung ⁴

Die Auswertung der Messreihen erfolgte mit Microsoft Excel.⁵ Abbildung 24 zeigt beispielhaft die Spaltenüberschriften und eine Zeile mit Mess- und Rechenwerten, wie sie von „Mess.exe“ erzeugt werden.

Die zur Auswertung verwendeten Daten sind fett dargestellt

Zeit:	08:56:22	Beta:	0.000
TLuft:	19.463	pLuft:	100966.797
rho:	1.204	diffdruck:	57.700
vKanal:	9.87	wert1:	0.12
wert2:	1.96		

wert1 0.12	wert2 0.96	wert3 -2.20	wert4 0.01	wert5 0.04	wert6 1.24
Mx -0.03	My 0.40	Mz 0.01	Fx 1.24	Fy 0.04	Fz -0.12
Mxs 0.03	Mys 0.40	Mzs -0.01	Fxs -1.24	Fys 0.04	Fzs 0.12
cMx 0.008	cMy 0.087	cMz -0.001	cFx -0.219	cFy 0.007	cFz 0.022

Abb. 24: Überschrift und eine Zeile aus einer Ergebnisdatei (KoggeS0.dat)

Auswertung der einzelnen Messreihen

Die in den Protokolldateien zeitlich geordneten Messdaten wurden in einem ersten Schritt für die einzelnen Messreihen nach steigendem Anströmwinkel sortiert. Dabei wurde aus den beiden Messungen bei senkrechter Anströmung auf das Segel am Beginn und in der Mitte der Messreihe der Mittelwert gebildet. Die weiteren Berechnungen wurden mit diesem Mittelwert durchgeführt. Im nächsten Schritt erfolgte die Korrektur der gemessenen Werte um den Gewichtseinfluss und die zeitliche Drift.

Aus diesen korrigierten Werten für die Kräfte X , $Y_{1/2}$ und $Z_{1/2/3}$ wurden nach den nachfolgend aufgeführten Gleichungen die Kräfte F_i und Momente M_i im raumfesten Koordinatensystem bezüglich des Aufhängepunktes des Modells berechnet. Anschließend folgte der Übergang vom raumfesten zum schiffsfesten Koordinatensystem. Mit Hilfe der unten angegebenen Gleichungen wurden die Kräfte F_{ai} und die Momente M_{ai} berechnet.

$$F_{ax} = -F_x \cdot \cos \epsilon - F_y \cdot \sin \epsilon$$
$$F_{ay} = F_y \cdot \cos \epsilon - F_x \cdot \sin \epsilon$$
$$F_{az} = -F_z$$

$$M_{ax} = -M_x \cdot \cos \epsilon - M_y \cdot \sin \epsilon$$
$$M_{ay} = M_y \cdot \cos \epsilon - M_x \cdot \sin \epsilon$$
$$M_{az} = -M_z$$

Mit diesen Werten wurden nun die Kraft- und Momentenbeiwerte berechnet. Dazu wurden die Kräfte auf das Produkt von Staudruck und charakteristischer Fläche bezogen.

⁴ Schreier, S., Messungen zum Überwasserschiff, unveröff. Studienarbeit, Universität Rostock, Lehrstuhl Meeres-technik, Rostock 2003. S. aus führlich: Ebenda. Dazu wurden die während der Messungen erzeugten Textdateien nach Excel importiert und als Tabelle gespeichert, die Original-dateien blieben erhalten.

⁵ Die Interpolierung der Messwerte als Korrektur der zeitlichen Drift erfolgte mit dem Gewichtseinfluss von S1, da der Einfluss von S2 bis S4 nur geringfügig von S1 abwich.

Für die Bildung der Momentenbeiwerte wurde der Nenner um eine charakteristische Länge ergänzt. Um die Ergebnisse sowohl der Messungen mit-, als auch ohne Segel untereinander vergleichen zu können, wurden alle Beiwerte mit der Überwasserlateralfäche und gegebenenfalls der Wasserlinienlänge als charakteristische Größen gebildet. Die Überwasserlateralfäche ist die Fläche des Rumpfes oberhalb der Wasserlinie, incl. der Flächen des Vorder- und Achterkastells. Bei der Wasserlinienlänge wurde das Ruder für das Überwasserschiff nicht mit berücksichtigt, da es nur bei den Schleppversuchen montiert war.

$$cF_{ai} = \frac{F_{ai}}{\frac{\rho_L}{2} \cdot v^2 \cdot A_{lat,aw}} \quad cM_{ai} = \frac{M_{ai}}{\frac{\rho_L}{2} \cdot v^2 \cdot A_{lat,aw} \cdot L_{KWL,aw}}$$

Für die Zusammenführung der Ergebnisse aus dem Windkanal und der Längsschlepprinne war es erforderlich, die Kräfte und Momente auf einen Punkt zu beziehen, da die Aufhängung an verschiedenen Punkten erfolgte. Als gemeinsamer Bezugspunkt wurde der Flächenschwerpunkt der Unterwasserlateralfäche gewählt. So wurden die zuvor berechneten Beiwerte auf den neuen Bezugspunkt transformiert. Die neuen Beiwerte erhielten die Bezeichnung cF_{xs} bzw. cM_{xs}. Aus dem Kräftegleichgewicht ergibt sich, dass die Kräfte unabhängig vom Bezugspunkt sind. Damit sind die Kraftbeiwerte cF_{is} gleich den Beiwerten cF_{ai}. Die neuen Momentenbeiwerte ergeben sich aus den folgenden Gleichungen.

$$\begin{aligned} M_{xs} &= M_{ax} - F_{ay} \cdot z_a + F_{az} \cdot y_a \\ M_{ys} &= M_{ay} - F_{az} \cdot x_a + F_{ax} \cdot z_a \\ M_{zs} &= M_{az} - F_{ax} \cdot y_a + F_{ay} \cdot x_a \end{aligned}$$

Darin sind x_a, y_a und z_a die Koordinaten des Aufhängepunktes bezüglich des Flächenschwerpunktes der Unterwasserlateralfäche. Mit Beiwerten geschrieben stellen sich die Gleichungen wie folgt dar. Zur Vereinfachung wird nur eine Gleichung dargestellt.

$$cM_{xs} \cdot \frac{\rho}{2} v_r^2 \cdot A_{lat,aw} \cdot L_{KWL,aw} = cM_{ax} \cdot \frac{\rho}{2} v_r^2 \cdot A_{lat,aw} \cdot L_{KWL,aw} - (cF_{ay} \cdot z_a + cF_{az} \cdot y_a) \cdot \frac{\rho}{2} v_r^2 \cdot A_{lat,aw}$$

Nach der Division durch den Faktor

$$\frac{\rho}{2} v_r^2 \cdot A_{lat,aw} \cdot L_{KWL,aw}$$

ergibt sich das Gleichungssystem für die Transformation der Beiwerte, das zur Auswertung verwendet wurde.

$$\begin{aligned} cM_{xs} &= cM_{ax} - cF_{ay} \cdot \frac{z_a}{L_{KWL,aw}} + cF_{az} \cdot \frac{y_a}{L_{KWL,aw}} \\ cM_{ys} &= cM_{ay} - cF_{az} \cdot \frac{x_a}{L_{KWL,aw}} + cF_{ax} \cdot \frac{z_a}{L_{KWL,aw}} \\ cM_{zs} &= cM_{az} - cF_{ax} \cdot \frac{y_a}{L_{KWL,aw}} + cF_{ay} \cdot \frac{x_a}{L_{KWL,aw}} \end{aligned}$$

Die so berechneten Beiwerte wurden für die verschiedenen Besegelungen und die beiden Geschwindigkeiten in Diagrammen über dem Anströmwinkel ε dargestellt. Die Diagramme sind am Ende dieses Kapitels zusammengestellt.

Ergebnisse

Zunächst werden die Messungen ohne Segel betrachtet, die als Grundlage für die Beurteilung der Segel benötigt werden. In Abbildung 25 wurden die Beiwerte für die Längskraft cF_{xs} und die Querkraft cF_{ys} sowie die vertikale Kraft cF_{zs} dargestellt, Abbildung 26 zeigt die Beiwerte des krängenden Momentes cM_{xs}, des Trimmmomentes cM_{ys} und des Giermomentes cM_{zs}.

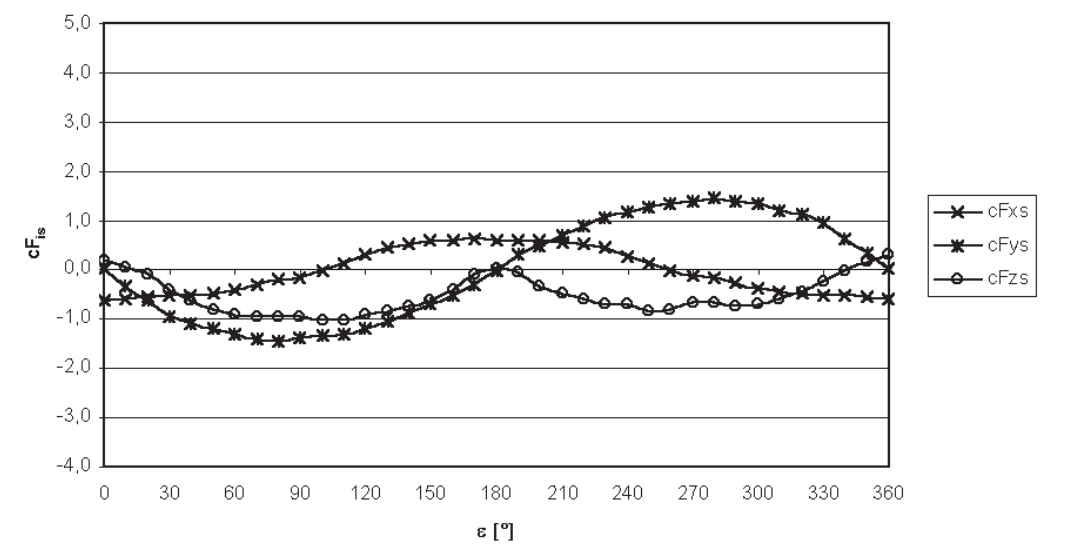


Abb. 25: Kraftbeiwerte für das Überwasserschiff ohne Segle bei v_r=10 m/s über dem Anströmwinkel ε

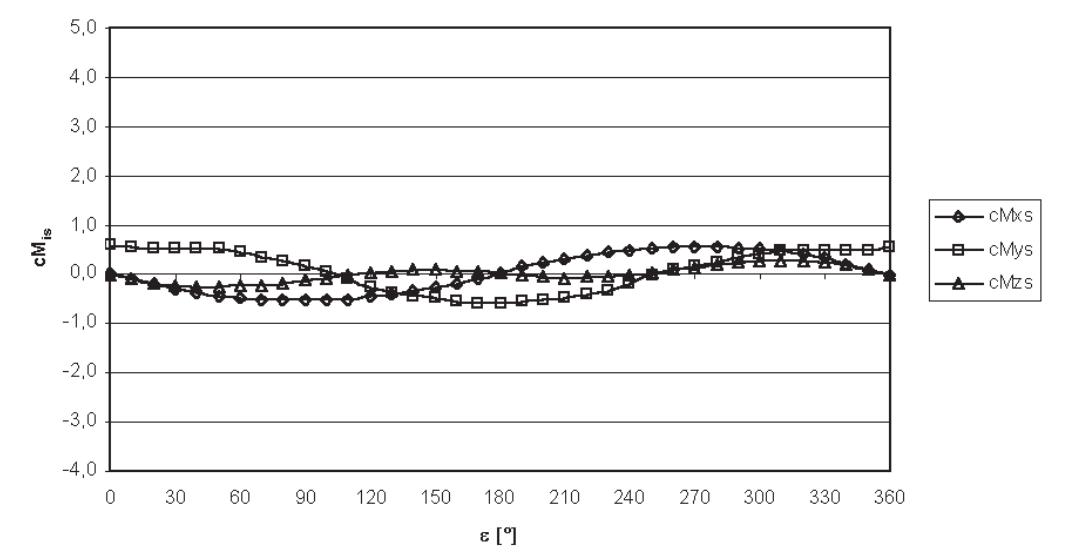


Abb. 26: Momentenbeiwerte für das Überwasserschiff ohne Segel bei v_r=10 m/s über dem Anströmwinkel ε

Alle Graphen zeigen den erwarteten symmetrischen Verlauf entsprechend der Form des Modells. Deutlich erkennbar ist der Vorzeichenwechsel in der Querkraft beim Drehen des Heckes durch den Wind bei ε=180°. Auffällig ist der Vergleich der vertikalen Kraft bei ε=0° und ε=180°. Während bei der Anströmung auf den Bug eine Kraft nach unten wirkt, tritt bei entgegengesetzter Richtung keine Kraft in vertikaler Richtung auf. Daraus ist ersichtlich, dass das Heck eine deutliche Versperrung der Strömung darstellt.

An den Kanten des Achterkastells reißt die Strömung ab, das entstehende Totgebiet umfasst das gesamte restliche Schiff. Das Vorderkastell wird zumindest teilweise umströmt, so dass die Strömung auch auf weiter achtern liegende Bereiche trifft.

Ein charakteristisches Ergebnis der Messungen mit Segeln zeigt die Abbildungen 27 und 28. Darin sind die Kraft- und Momentenbeiwerte am Überwasserschiff mit dem Großsegel für ein Brasswinkel von δ_b=90° über dem Anströmwinkel ε dargestellt.

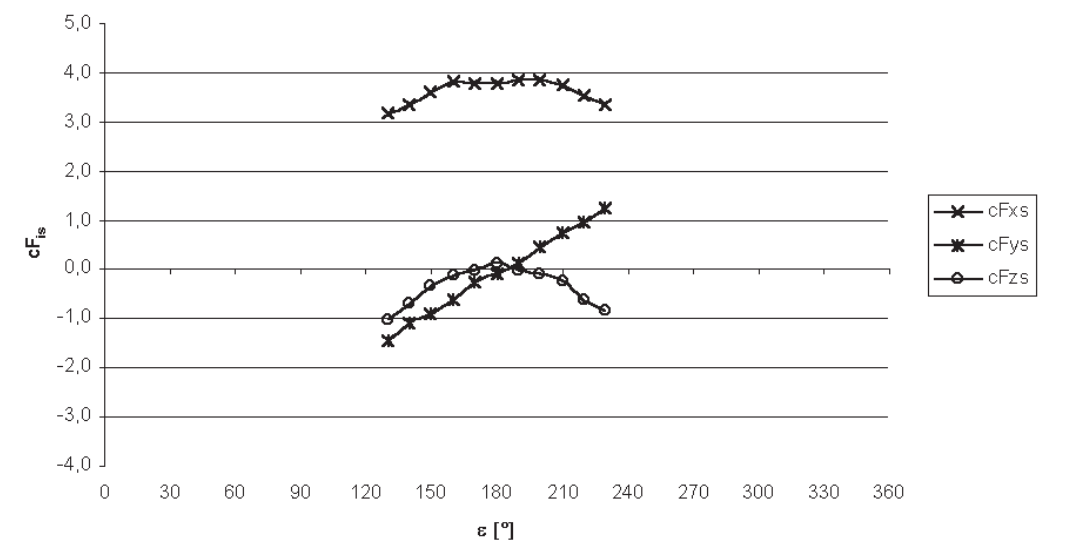


Abb. 27: Kraftbeiwerte für das Überwasserschiff mit Großsegel bei v_r=10 m/s und δ_b=90° über dem Anströmwinkel ε

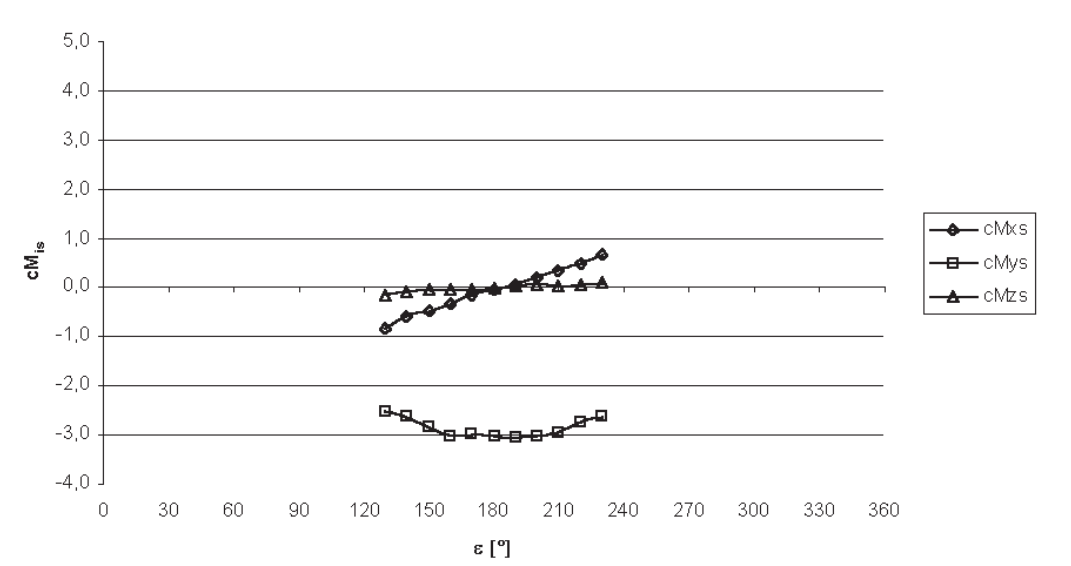


Abb. 28: Momentbeiwerte für das Überwasserschiff mit Großsegel bei v_r=10 m/s und δ_b=90° über dem Anströmwinkel ε

Zunächst fällt die gute Symmetrie der Ergebnisse um die senkrechte Anströmung des Segels bei $\epsilon=180^\circ$ auf. Das Segel kann in beide Richtungen bis zu einem Einfallswinkel des scheinbaren Windes von $\pm 50^\circ$ zur achterlichen Anströmung gefahren werden. Es ist deutlich erkennbar, dass die Längskraft bei dieser Segelstellung die überwiegende Komponente der Resultierenden ist. Bei zunehmender Abweichung des Anströmwinkels von der senkrechten Anströmung sinkt die Längskraft, wobei gleichzeitig der Betrag der Querkraft wächst. Der leichte Einbruch der Längskraft bei senkrechter Anströmung ist mit der Versperrung durch das Achterkastell zu erklären. Untersuchungen mit einer Fadensonde ergaben, dass das Totgebiet über dem Achterkastell die Anströmung des unteren Bereiches des Segels weitgehend verhindert.

Um diesen Verlauf richtig beurteilen zu können, wurde der Einfluss des Segels im Zusammenwirken mit der Umströmung des Rumpfes auf die Kräfte und Momente ermittelt. Dazu wurden von den Ergebnissen am Schiff mit Segel die ohne Segel gewonnenen Beiwerte abgezogen.

Da das Segel die gesamte Umströmung der Kogge erheblich verändert, kann dieses Vorgehen nur zu einer groben Abschätzung führen. Es ist jedoch die einzige Möglichkeit, den Einfluss von Rumpf und Segel wenigstens annähernd getrennt zu erfassen. Für die schon in Abbildungen 27 und 28 betrachtete Situation wurde der so erhaltene Einfluss des Segels in den Abbildungen 29 und 30 dargestellt.

Im Vergleich dieser Diagramme wird deutlich, dass die Längskraft praktisch ausschließlich vom Segel erzeugt wird, während der Querkraftverlauf vom Rumpf bestimmt wird.

Die vertikale Kraft entsteht durch den Druckabfall in der beschleunigten Strömung oberhalb des Decks. Da im Fall der direkten Anströmung von achtern das Segel die Überströmung des Decks verhindert, kann in diesem Zustand kein Auftrieb entstehen. Erst bei zunehmend seitlichem Einfall des scheinbaren Windes werden Teile des Decks so frei überströmt, dass die Geschwindigkeit lokal über der Anströmgeschwindigkeit liegt und damit ein Unterdruck erzeugt wird.

Das Trimmmoment wird auch hauptsächlich vom Segel erzeugt. Die am Segel auftretende Längskraft greift in einer Höhe am Mast an und verursacht damit mit diesem Hebel das Moment um die Schiffsquerachse.

Das krängende Moment wird im wesentlichen von der Querkraft mit ihrem Hebel in vertikaler Richtung verursacht. Da bei dieser Segelstellung die Querkraft fast ausschließlich am Rumpf entsteht, liegt der Angriffspunkt der Resultierenden deutlich niedriger als der Angriffspunkt der Längskraft am Segel. Damit ist auch das krängende Moment erheblich kleiner als das Trimmmoment.

Das Giermoment entsteht aus der Verteilung der Querkraft über die Länge. Bedingt durch die achterliche Lage des Bezugspunktes ergibt sich ein Moment, das das Schiff aus dem Wind zu drehen sucht.

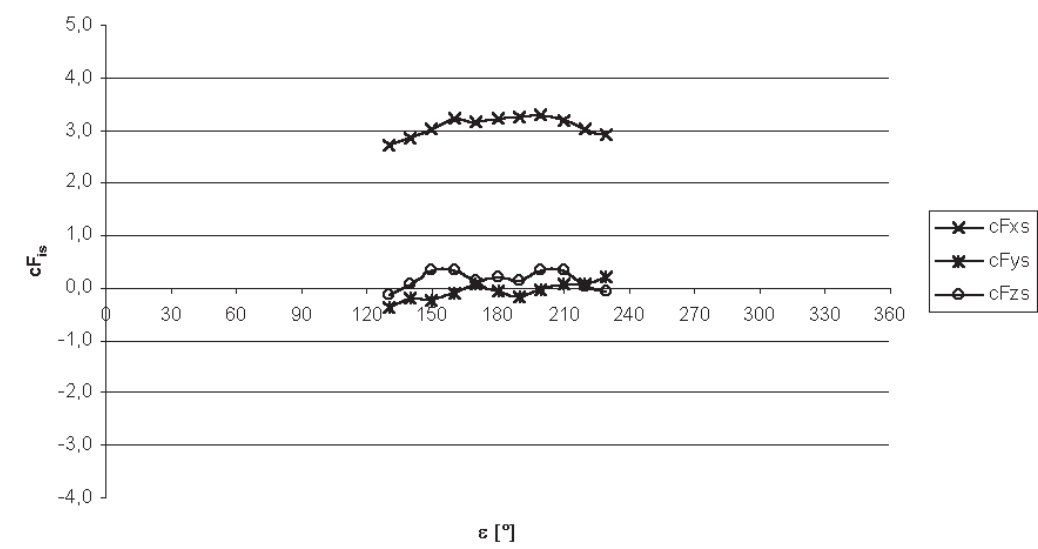


Abb. 29: Kraftbeiwerte vom Segel einfluss des Segels S1 bei $v_r=10$ m/s und $\delta_b=90^\circ$ über dem Anströmwinkel ϵ

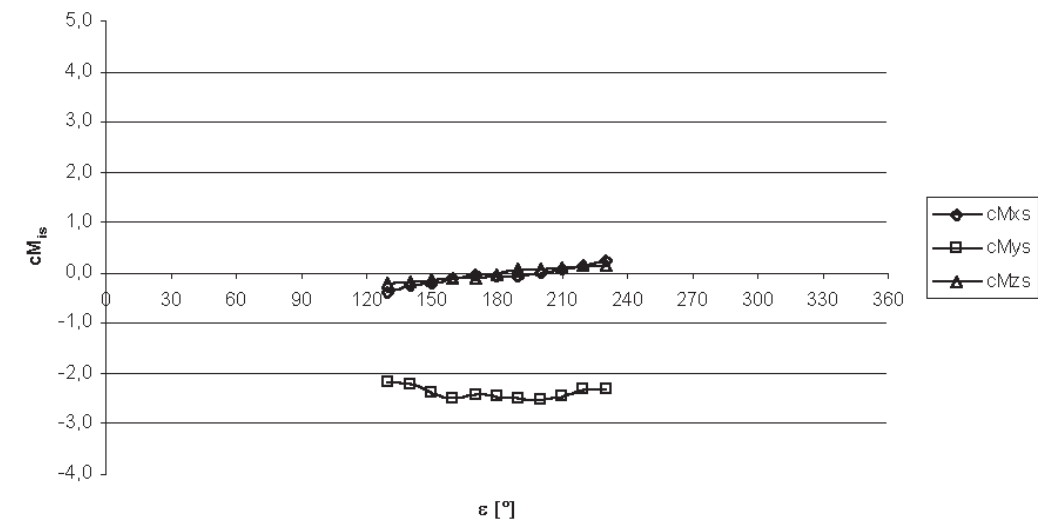


Abb. 30: Momentbeiwerte für das Überwasserschiff mit Großsegel bei $v_r=10$ m/s und $\delta_b=90^\circ$ über dem Anströmwinkel ϵ

Einfluss des Brasswinkels δ_b

Durch die zunehmende Ausrichtung der Rah längs zum Schiff zeigt die resultierende Kraft am Segel weiter in Schiffsquerrichtung. Bei der Aufspaltung in das schiffsfeste Koordinatensystem wird damit die Komponente in Längsrichtung immer geringer, während der Querkraftanteil wächst. Dies geht beim Großsegel so weit, dass die Längskraft negativ wird und das Schiff damit rückwärts fahren würde. Schon hier wird deutlich, dass mit der Kogge nicht hoch am Wind gefahren werden kann.

Bis zu einem Brasswinkel von 130° ist der Arbeitsbereich des Segels im wesentlichen nur über den Anströmwinkel jeweils um 20° im Vergleich mit den benachbarten Segelstellungen verschoben. Bei $\delta_b=150^\circ$ wird der Bereich in dem das Segel gefahren werden kann, ohne dass es killt, deutlich größer. Diese Einstellungen sind in den Abbildungen 31 und 32 wiedergegeben. Beim Großsegel zeigt sich dabei deutlich die stabilisierende Wirkung der Vorschot sowie der Bullings. Ausgehend von $\epsilon=180^\circ$ erreicht das Großsegel einen Anströmwinkel von 330° , bevor es zu killen beginnt. Das deutet daraufhin, dass die Anströmung längs zum Segel erfolgt und schon vorlicher als querab zum Schiff.

Das Segel S2 wurde ohne Bullings und Vorschot gefahren. Dementsprechend eher beginnt das Segel zu killen. Das Segel S3 mit Vorschot liegt mit seinem Arbeitsbereich zwischen den vorgenannten.

Durch die Bullings und besonders die Vorschot kann das luvseitige Lick gut dichtgeholt werden. Damit steht die aus Sicht der Strömung vordere Kante des Segels sehr gut und das Schothorn kann nicht nach innen schlagen und so zum Killen führen.

Mit dem steigenden Anströmwinkel bei vergrößertem Brasswinkel steigen auch das Giermoment und besonders das krängende Moment deutlich an. Das krängende Moment ergibt sich aus der Verteilung der Querkraft über die Höhe. Da mit zunehmender Schrägstellung der Rah der Querkraftanteil am Segel wächst, wird auch das Moment größer, da sich der Angriffspunkt der resultierenden Querkraft nach oben verschiebt.

Der Rückgang der Querkraft bei sehr großen Anströmwinkeln ist damit zu erklären, dass das Segel in diesem Bereich schon sehr flach angeströmt wird und damit einen geringen Widerstand bietet. Weiterhin ist die Anströmung in diesem Bereich vorlicher als querab. Dadurch wird auch der Querkraftanteil des Rumpfes geringer.

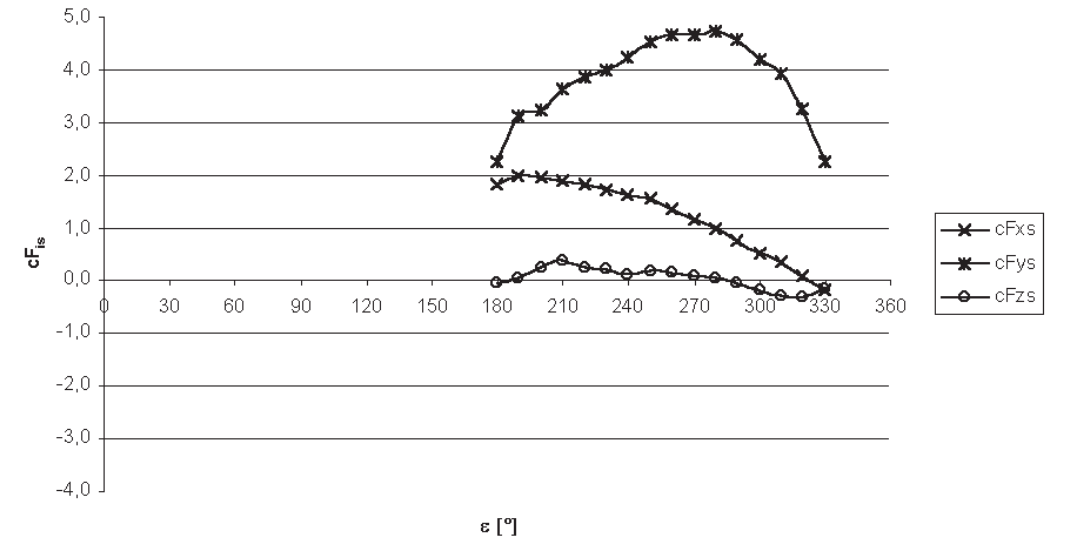


Abb. 31: Krefbeiwerte für das Überwasserschiff mit Großsegel bei $v_r=10$ m/s und $\delta_b=150^\circ$ über dem Anströmwinkel ϵ

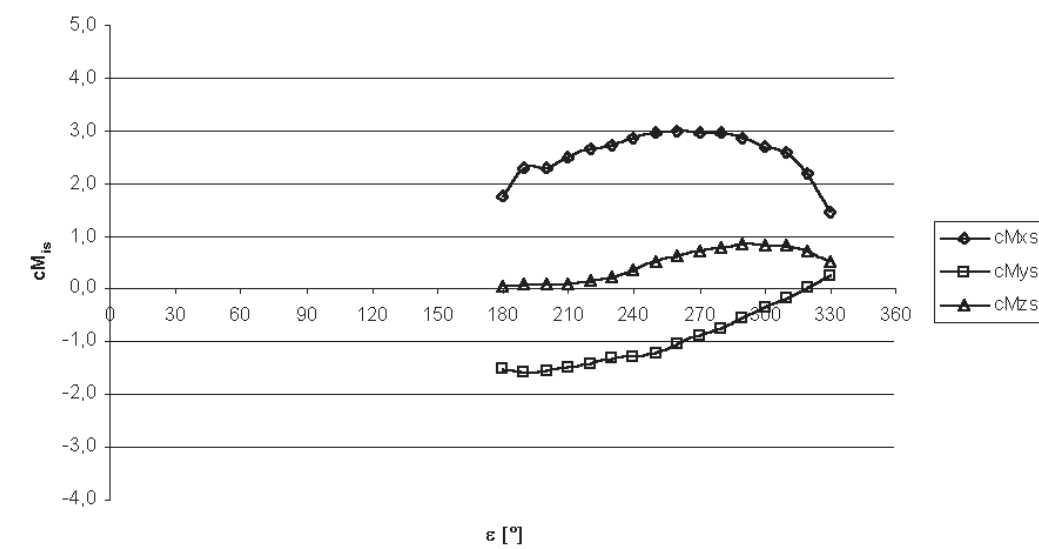


Abb. 32: Momentbeiwerte für das Überwasserschiff mit Großsegel bei $v_r=10$ m/s und $\delta_b=150^\circ$ über dem Anströmwinkel ε

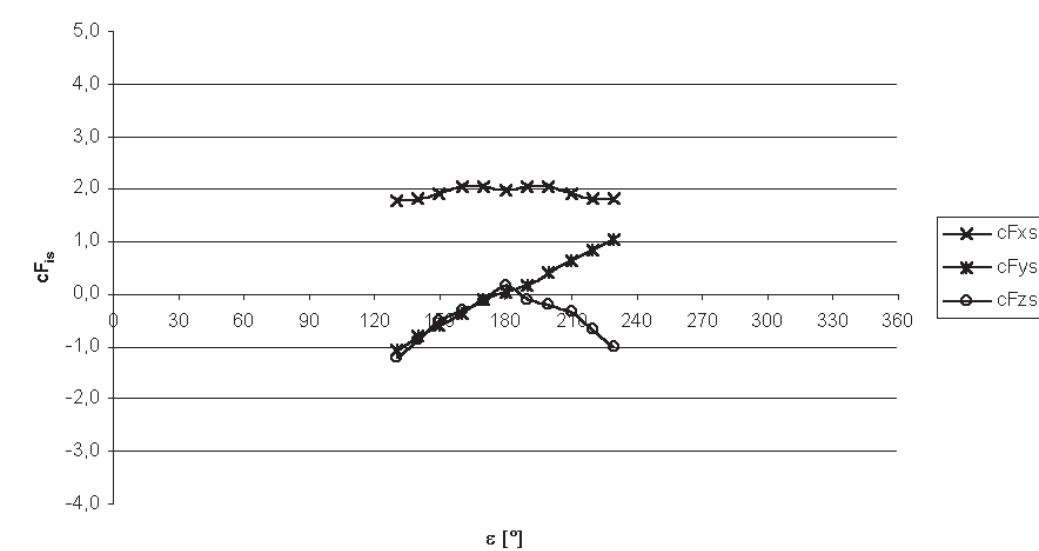


Abb. 33: Kraftbeiwerte für das Überwasserschiff mit Segel S4 bei $v_r=10$ m/s und $\delta_b=90^\circ$ über dem Anströmwinke ε

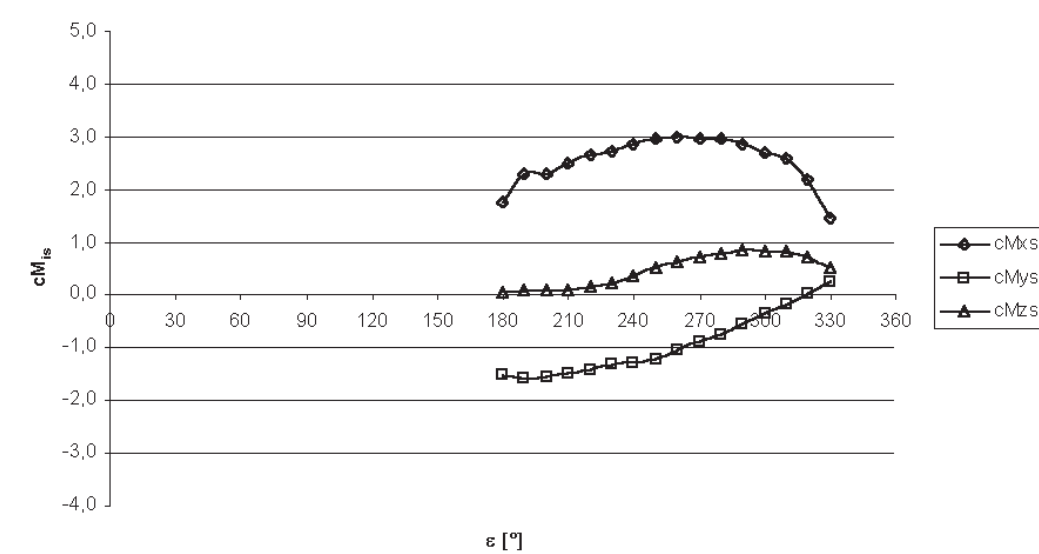


Abb. 34: Momentbeiwerte für das Überwasserschiff mit Segel S4 bei $v_r=10$ m/s und $\delta_b=90^\circ$ über dem Anströmwinkel ε

Einfluss der Segelgröße

Wie zu erwarten, sinken mit verkleinertem Segel die Längs- und Querkraft am Segel sowie das krängende und das Trimmmoment durch den nach unten verlegten Angriffspunkt der Segelkräfte. Die schon beschriebenen Verläufe werden dadurch nur wenig beeinflusst. Die Abbildungen 33 und 34 zeigen die Ergebnisse am Segel S4.

Beim Vergleich des Querkraftverlaufs der beiden dargestellten Segel (Abbildungen 27/28 und 33/34) wird deutlich, dass bei $\varepsilon=90^\circ$ der wesentliche Anteil vom Rumpf herrührt. Dies gilt ebenso für krängende und das Giermoment sowie die Kraft in vertikaler Richtung.

Einfluss der Geschwindigkeit

Zur Betrachtung des Geschwindigkeitseinflusses auf die Ergebnisse wurden in den Abbildungen 35/36 die berechneten Beiwerte am Überwasserschiff mit dem Segel S3 bei $v_r=10$ m/s und $v_r=15$ m/s dargestellt. Der Brasswinkel betrug bei dieser Messung $\delta_b=150^\circ$.

Es ist deutlich erkennbar, dass die Geschwindigkeit, bei der die Messung durchgeführt wurde, praktisch keinen Einfluss auf die Beiwerte hat. Damit sind die Beiwerte unabhängig von der Geschwindigkeit und somit auch von der Reynoldszahl. Somit ist eine Übertragung auf die Großausführung zulässig.

Vergleich der Segel mit einer ebenen Platte

Zur theoretischen Beurteilung der Segel wurde ein Vergleich mit der Umströmung einer ebenen Platte durchgeführt. Dazu wurden die Polaren von den einzelnen aufgetragen und mit den Ergebnissen für eine ebene Platte nach F. W. Riegels verglichen.

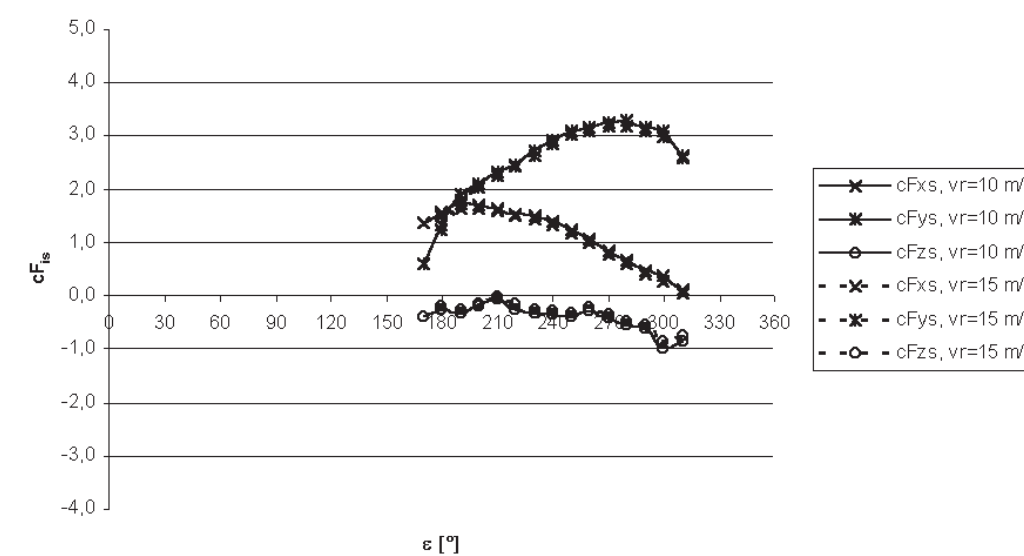


Abb. 35: Kraftbeiwerte für das Überwasserschiff mit Segel S3 bei $v_r=10$ m/s und $v_r=15$ m/s mit $\delta_b=150^\circ$ über dem Anströmwinkel ε

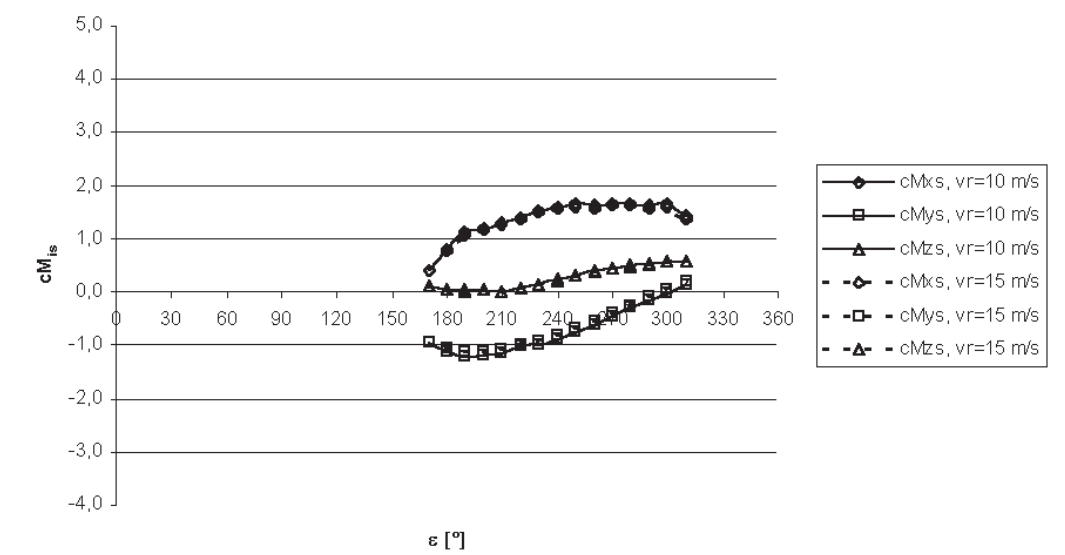


Abb. 36: Kraftbeiwerte für das Überwasserschiff mit Segel S3 bei $v_r=10$ m/s und $v_r=15$ m/s mit $\delta_b=150^\circ$ über dem Anströmwinkel ε

Für die Darstellung der Polaren wurde die Längs- und Querkraftbeiwerte des Segeleinflusses wieder in das raumfeste Koordinatensystem überführt und als Widerstands- in Strömungsrichtung bzw. Auftriebsbeiwert senkrecht dazu ausgedrückt. Zur Darstellung über dem Anströmwinkel wurde der Anströmwinkel zum Segel, wie in Abbildung 37 gezeigt, definiert. Zum Vergleich mit den Werten nach Riegels wurde die Beiwerte auf die Segelfläche bezogen. Aus der Definition des Anströmwinkels ε und des Brasswinkels δ_b ergibt sich α als Differenz zwischen den beiden vorgenannten.

Die Polaren für das Großsegel zeigen die Abbildungen 38 und

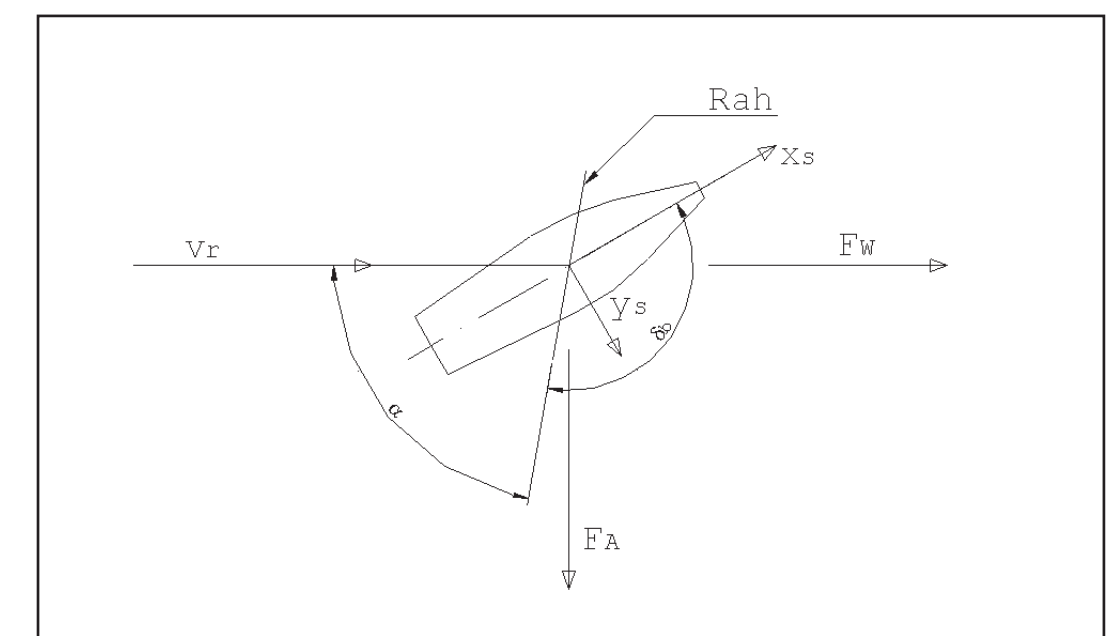


Abb. 37: Definition des Anströmwinkels α sowie der Widerstands- und Auftriebsrichtung am Segel

39, die Ergebnisse nach Riegels sind in Abbildung 40 wiedergegeben. Es ist deutlich erkennbar, dass die Umströmung der Segel im Vergleich zur ebenen Platte sehr ähnlich ist. Weiterhin ist ersichtlich, dass die Bereiche kleiner Anströmwinkel, in denen das Segel als Tragflügel betrachtet werden müsste, nur bei $\delta_b=150^\circ$ erreicht werden.

Daher ist die Umströmung bei allen real fahrbaren Segelstellungen unabhängig von der Reynoldszahl.

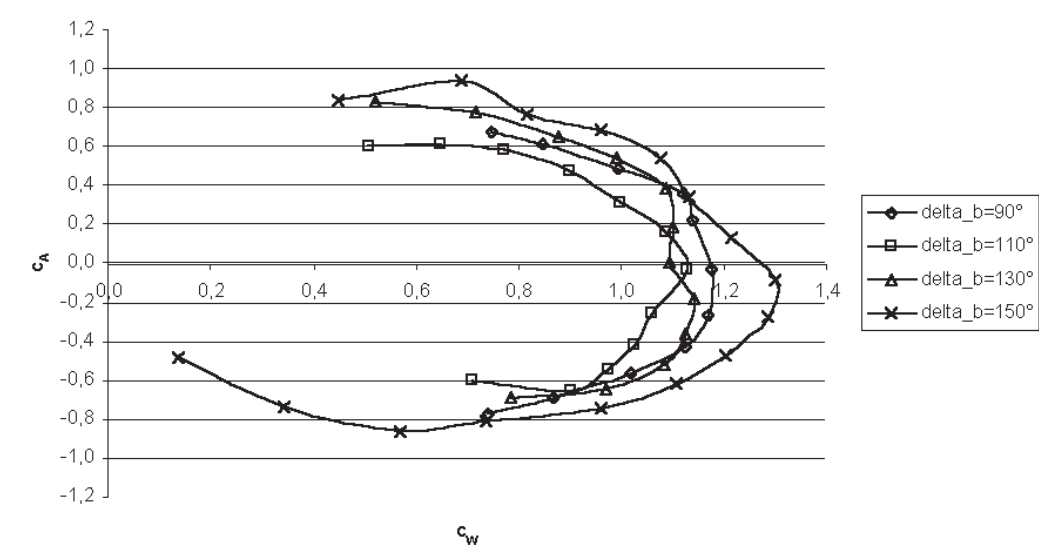


Abb. 38: Polaren des Großsegels mit verschiedenen Brasswinkeln bei $v_r=10$

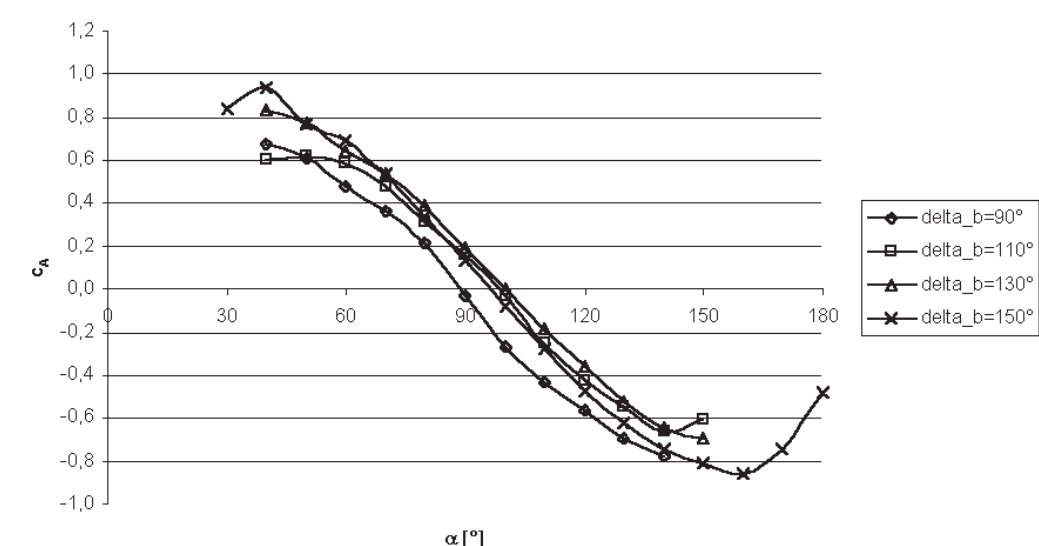


Abb. 39: Auftriebsbeiwert am Großsegel über dem Anströmwinkel α

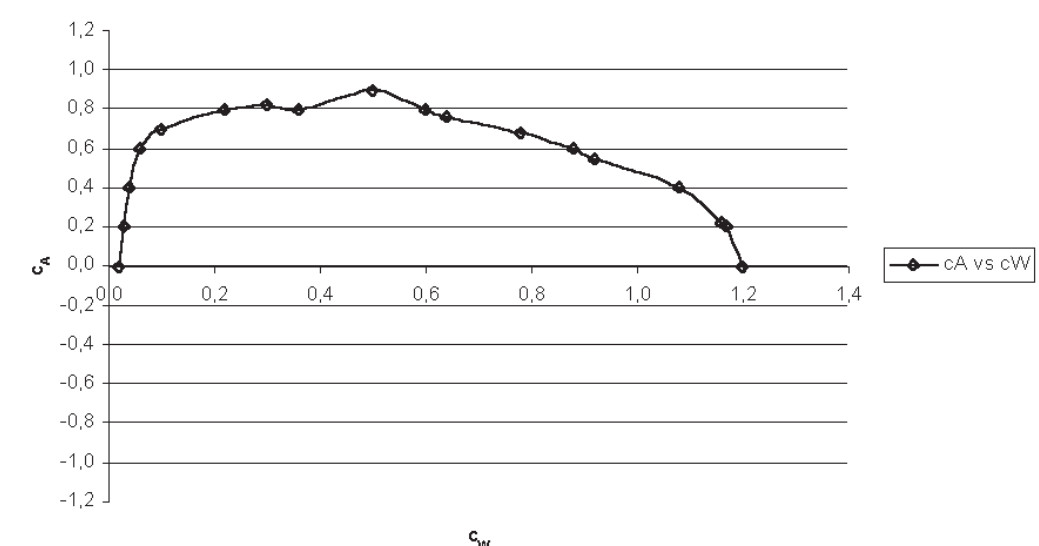


Abb. 40: Polaren der ebenen Platte anch F.W. Riegels

Messungen am Unterwasserschiff

Die Messungen am Unterwasserschiff wurden in der Längsschlepprinne der Strömungshalle des Lehrstuhls für Strömungsmechanik der Universität Rostock durchgeführt. Die Schlepprinne hat einen Querschnitt von 5 m Breite und 3 m Tiefe. Die nutzbare Schlepplänge beträgt etwa 30 m, die maximale Schleppgeschwindigkeit 1,8 m/s. Aufgrund der Kombination von Rundlaufkanal und Längsschlepprinne ist der Schleppwagen nicht als Portal über die beiden Seitenwände der Rinne ausgeführt, sondern läuft nur einseitig auf einer Schiene. Das Widerlager ist weiter außerhalb an der angrenzenden Wand angebracht. Der Ausleger, der über die Messstrecke ragt ist verhältnismäßig biegeweich, so dass sich Schwingungen aufgrund von Unebenheiten in den Laufschiene gut bis zur Modellaufnahme fortsetzen können. Da die Anlage etwa 40 Jahre alt ist, sind die Unebenheiten der Laufschiene unvermeidlich.

Bei den Messungen in der Längsschlepprinne wird das Modell durch das unbewegte Wasser geschleppt. Im Fall der Kogge sollten quasistatische Messungen durchgeführt werden. Daher wurde der Schleppwagen mit dem Modell aus der Ruhe heraus auf die Schleppgeschwindigkeit beschleunigt. Daran schloss sich ein Bereich der Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit an, während dessen die Messung erfolgte. Nach Beendigung der Messung musste der Schleppwagen vor dem Erreichen der Endschiene wieder abgebremst werden. Bei dem Beschleunigen und Verzögern der gesamten Messeinrichtung mit Waage und Modell am Schleppwagen treten Trägheitskräfte auf, die je nach bewegter Masse und der Größe der Beschleunigung deutlich größer sein können, als die zu messenden hydrodynamischen Kräfte am Modell. Weiterhin sind diese dynamischen Einflüsse bei der Einstellung der Messparameter zu berücksichtigen.

Verwendete Messtechnik

Für die Messungen im Schleppkanal wurde die 6-Komponenten-Waage aus dem Windkanal ausgebaut und wieder mit den Öldämpfern versehen. Anschließend wurde die Waage in ihrer ursprünglichen Position an einen vertikal arbeitenden Support am Schleppwagen angebracht. Mit dem Support war es möglich, den Abstand der Waage zur Wasseroberfläche in einem relativ weiten Bereich einzustellen. Die Aufnahme der Messwerte erfolgte wiederum elektronisch mit dem Messsystem MGC, das schon am Windkanal erfolgreich eingesetzt wurde. Das Auslesen der Messdaten vom MGC und die Einstellung der Parameter des Messsystems erfolgte hier mit dem Rechner, der

im Windkanal nur zum Abgleich verwendet wurde. Als Messprogramm wurde das Programm „Messung.exe“ eingesetzt. Die Kanalbelegung am MGC war die gleiche wie bei den Versuchen im Windkanal. Aufgrund der neuen Einbaulage der Waage wurde die Kalibrierung der horizontalen Komponenten des Messsystems überprüft. Dabei ergaben sich leichte Abweichungen von der Ausgangskonfiguration, die entsprechend korrigiert wurden.

Da im Vergleich zum Windkanal nicht stationär gemessen werden konnte, wurde die Grenzfrequenz des Tiefpasses im MGC auf 0,5 Hz erhöht. Damit reduziert sich die erforderliche Einstellzeit für ein sprunghaftes Eingangssignal von 5 auf 2 Sekunden bis zur vollständigen Anzeige. So muss diese Einstellzeit nach dem Ende der Beschleunigungsphase abgewartet werden, um die tatsächlich angreifenden Kräfte zu messen. In diesem Zusammenhang sind auch die Öldämpfer bemerkenswert, da sie die höherfrequenten Schwingungen des Messwagens durch die Unebenheiten der Laufschiene gut minderten.

Die Geschwindigkeit des Schleppwagens wurde mit einem Zählfrequenzmesser bestimmt, der für eine vorgegebene Strecke von $\Delta l=0,1$ m die Anzahl N der Impulse mit einem Abstand von $\Delta t=0,1$ ms zählt. Die Geschwindigkeit des Schleppwagens ist dann:

$$v_t = \frac{\Delta l}{N \cdot \Delta t}$$

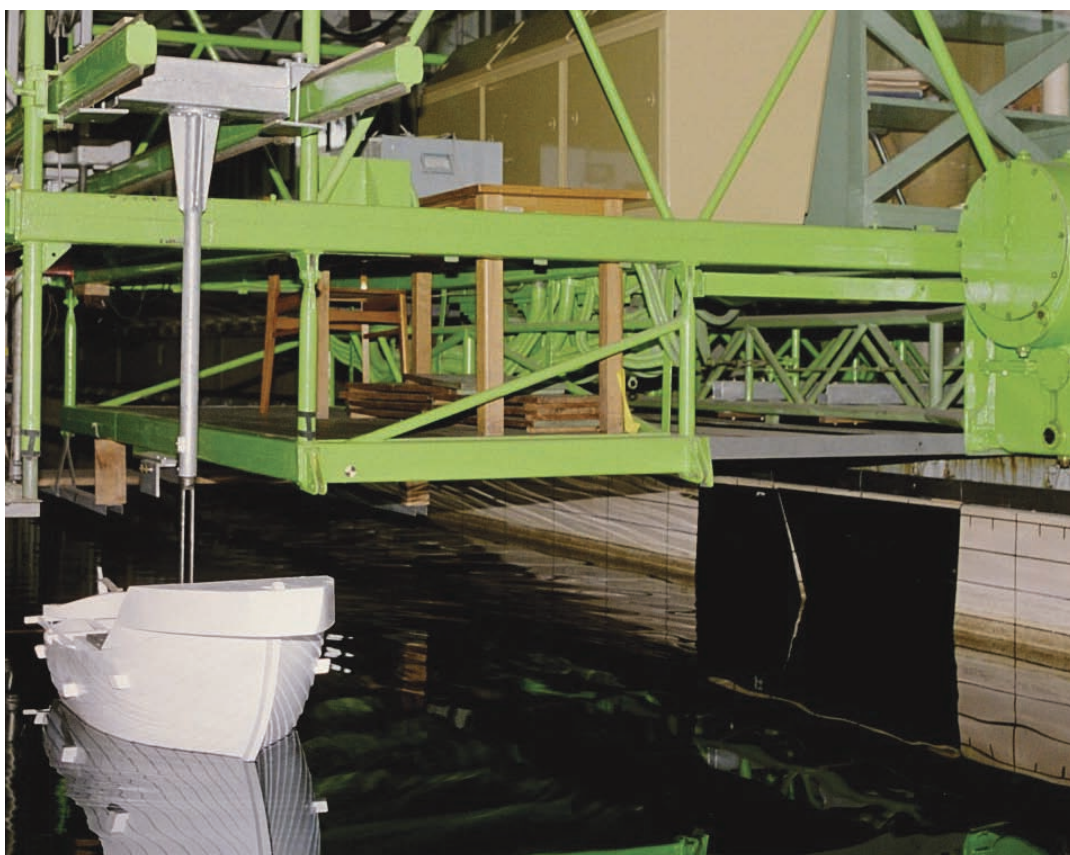


Abb. 41: Modell im Schleppkanal mit Waage und Schleppwagen

Festlegung der Schleppgeschwindigkeit

Da die Schleppversuche an der Phasengrenze zwischen Luft und Wasser durchgeführt werden, bilden sich aufgrund der Druckverhältnisse in der Umströmung Wellen an der Wasseroberfläche aus. Die Struktur des Wellenbildes hängt von dem Verhältnis der Gewichtskräfte zu den Trägheitskräften ab. Dieses Verhältnis wird in der Strömungsmechanik durch die Froudezahl Fr ausgedrückt.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}}$$

Darin ist v die Geschwindigkeit des Schiffes, g die Erdbeschleunigung und L eine charakteristische Länge, die zumeist die Wasserlinienlänge ist.

Bei gleichen Froudezahlen im Modell und der Großausführung ist das Wellenbild ähnlich. Damit ist der Anteil des Wellenwiderstandes vom Modell auf die Großausführung übertragbar. Da sich der Schiffswiderstand im wesentlichen in einen Reibungs- und einen Wellenanteil aufteilen lässt, muss auch die Reynoldszahl für die Ähnlichkeit der Umströmung betrachtet werden. Wie jedoch bereits bei den Messungen im Windkanal ausgeführt wurde, ergibt sich aus der Forderung nach gleichen Reynoldszahlen, dass die Modellgeschwindigkeit aus der Geschwindigkeit der Großausführung multipliziert mit dem Maßstabsfaktor berechnet werden muss, sofern die Versuche im gleichen Medium durchgeführt werden. Dies ergibt bei einer angenommenen Geschwindigkeit der Großausführung von etwa 10 kn eine Modellgeschwindigkeit von 150 kn, entsprechend ca. 75 m/s. Diese Geschwindigkeit ist versuchstechnisch an keiner Versuchsanstalt realisierbar. Daher bleibt für die Schleppversuche die Forderung gleicher Froudezahlen bestehen. Der Index M steht für das Modell, S bezeichnet die Großausführung.

$$Fr_M = Fr_S$$

$$\frac{v_M}{\sqrt{gL_M}} = \frac{v_S}{\sqrt{gL_S}}$$

Bei gleicher Erdbeschleunigung g ergibt sich daraus die folgende Beziehung für die Modellgeschwindigkeit.

Daran wird auch deutlich, dass die Ähnlichkeiten nach Froude

$$v_M = v_S \cdot \sqrt{\frac{L_M}{L_S}}$$

und Reynolds nicht gleichzeitig eingehalten werden können, solange die Versuche im gleichen Medium durchgeführt werden, in dem sich auch das Original bewegt.

Im vorliegenden Fall wurde von einer Geschwindigkeit der Großausführung von etwa 10 kn ausgegangen. Dies ergab eine Schleppgeschwindigkeit von 1,33 m/s. Aufgrund der begrenzten Schleplänge und der damit verbundenen kurzen Messzeit, die bei höheren Geschwindigkeiten durch längere Beschleunigungs- und Bremsvorgänge noch verkürzt wird, wurde die Schleppgeschwindigkeit auf $v_t=1,0$ m/s festgelegt. Dies entspricht einer Geschwindigkeit der Großausführung von 7,5 kn. Durch die Reduktion der Schleppgeschwindigkeit werden auch die dynamischen Kräfte auf die Versuchsanordnung verringert.

Festlegung der Versuchsparameter

Um Aussagen über das Driftverhalten und die erforderlichen Ruderlagen für einen konstanten Kurs zu erhalten, wurde das Unterwasserschiff hinsichtlich Gierwinkel und Ruderwinkel untersucht.

Ruderwinkel δ_r

Zur Begrenzung der erforderlichen Messungen wurden für den Ruderwinkel ein Bereich von 20° zu beiden Seiten mit einer Schrittweite von 10° festgelegt. Der Ruderwinkel ist nach Abbildung 42 positiv für eine Ruderlage nach Backbord definiert. Zur Einstellung der Ruderlage wurde in der Führungsleiste der Ruderpinne eine Reihe von kleinen Löchern mit einem Winkelabstand von jeweils 10° gebohrt, in denen die Ruderpinne mit einem kleinen Nagel fixiert werden konnte.

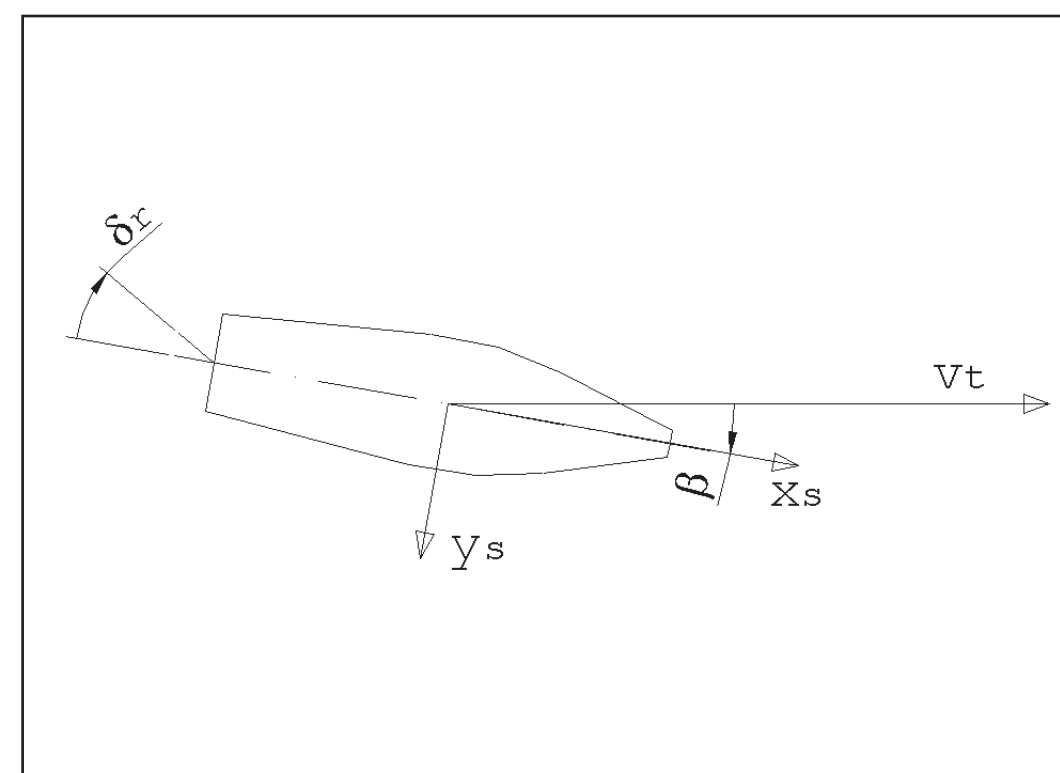


Abb. 42: Definition des Ruderwinkels δ_r und der Gierwinkels β , Schleppgeschwindigkeit v_t

Gierwinkel β

Da die Großausführung mit relativ kleinen Gierwinkeln fahren soll, wurde hier mit $\pm 10^\circ$ um die Fahrt ohne Drift ein engerer Bereich festgelegt. Um den Verlauf des Einflusses des Gierwinkels auf die Kräfte und Momente besonders bei kleinen Änderungen aus der Nulllage heraus erfassen zu können, wurden die zu vermessenden Lagen mit $\pm 2^\circ$, $\pm 5^\circ$ und $\pm 10^\circ$ sowie der Fahrt parallel zur Schiffslängsachse bestimmt.

Der Gierwinkel ist der Winkel zwischen der Schiffsgeschwindigkeit v_t und der Schiffslängsachse. Die Definition des Gierwinkels ist in Abbildung 42 dargestellt.

Der Gierwinkel wurde mit dem Schneckentrieb am Drehteller der Waage eingestellt und an der dort angebrachten Winkelskala abgelesen. In den Vorversuchen wurde nun das Messverfahren ausgearbeitet.

Die Ausrichtung des Modells im Vorversuch

Der Schleppwagen läuft nicht absolut parallel zur Wasseroberfläche. Dadurch verändert sich der Tiefgang des fest mit dem Schleppwagen verbundenen Modells und somit sein Auftrieb über die gefahrene Strecke.

Um diesem Effekt Rechnung zu tragen, wurde eine Fahrt mit der vollen Schleppgeschwindigkeit von $v_t=1,0$ m/s durchgeführt. Dabei wurde beobachtet, welche Strecken für das Beschleunigen und Abbremsen benötigt wurden.

Da nach dem Beschleunigen aufgrund der Trägheit des Messsystems nicht direkt mit dem Aufnehmen der Messwerte begonnen werden kann, wurde hier noch ein kurzer Bereich als Puffer eingeplant.

Die effektive Messstrecke lag kurz hinter der Hälfte des Fahrweges des Schleppwagens. In der Zeit, die zum Durchfahren dieses Messbereichs benötigt wurde, konnten mit dem Programm „Messung.exe“ 10 Messwerte je Kanal aufgenommen werden.

Daraus ergibt sich eine Messzeit von etwa 5 Sekunden. Etwa in der Mitte der Messstrecke ist eine Uhr in der Strömungshalle angebracht, die als „Landmarke“ für die Position des Abgleichs für die weiteren Messreihen genutzt wurde.

An dieser Stelle wurde das Modell mit dem Support an der Waage auf seine KWL gebracht und die Waage abgeglichen. Damit lag unabhängig von der Anzeige bei den beiden Endpositionen in der Messstrecke ein gut abgeglichener Zustand vor.

Ausrichtung in der horizontalen Ebene

Die Ausrichtung der Kogge in der Ebene stellte ein kleineres Problem dar. Theoretisch musste die Kogge so ausgerichtet werden, dass das Modell mit seiner Längsachse bei einem Gierwinkel von $\beta=0^\circ$ exakt in Schlepprichtung lag. Praktisch war jedoch nur möglich, die Anschlagplatte auf der Kogge möglichst exakt in Schiffslängsrichtung auszurichten und damit die Lage des Modells zur Waage einzustellen. Die Exaktheit der Ausrichtung wurde in Versuchen mit $v_t=0,5\text{ m/s}$ bei Ruderlage mittschiffs überprüft, indem die Kräfte bei kleinen Gierwinkeln gemessen wurden. Ein symmetrisches Schiff ist bei Bewegung in seiner Längsrichtung querkraft- und giermomentenfrei. Daraus lässt sich die hydrodynamische Nulllage bestimmen. Im vorliegenden Fall war das Schiff bei $\beta\approx 0,5^\circ$ querkraftfrei und bei $\beta=0,5^\circ$ giermomentenfrei. Daraus ist ersichtlich, dass das Modell nicht ganz symmetrisch war. Aufgrund der kleinen Abweichungen wurde die Ausrichtung beibehalten.

Festlegung des Messablaufs

Aufgrund der Erfahrung langjähriger Mitarbeiter an der Schlepprinne wurden mit einer Einstellung von Ruder- und Gierwinkel drei Messfahrten festgelegt. Während dieser drei Fahrten wurden Einzelmessreihen mit 10 Messwerten aufgenommen, aus denen zunächst Mittelwerte gebildet wurden, die wiederum über die drei Messfahrten gemittelt wurden. Auf diese Weise wurden gut reproduzierbare Messergebnisse erzielt. Für die Messungen wurde folgender Ablauf festgelegt: Nach der Befestigung des Modells an der Waage in der Endposition des Schleppwagens wurde die Versuchseinrichtung zur Mitte der Messstrecke verfahren. Dort wurde die genaue Schwimmlage auf KWL sowie der Gierwinkel auf $\beta=0^\circ$ eingestellt. Weiterhin wurde die in der folgenden Messreihe zu untersuchende Ruderlage eingerichtet. Anschließend erfolgte ein Abgleich der Waage und eine Messung dieser Nullwerte. Danach wurde der Schleppwagen in seine Startposition gefahren und die statischen Nullwerte ohne Fahrt gemessen. Nach dieser Messung folgten die drei Messfahrten, während derer die Kräfte durch die Umströmung des Modells an der Waage gemessen wurden. Für die Messfahrten wurde zunächst das Programm „Messung.exe“ gestartet. Das Programm zeigt dann laufend die aktuellen Messwerte an und fordert den Nutzer auf, die eigentliche Messung zu starten, wenn die angezeigten Werte stabil sind. Danach wurde der Schleppwagen in Bewegung gesetzt. Nach der Beschleunigung wurde die Schleppgeschwindigkeit über den Zählfrequenzmesser kontrolliert.

Bei konstanter Geschwindigkeit wurde nach einer kurzen gleichmäßigen Fahrt die Messung ausgelöst. Um diesen Startpunkt bei allen Messfahrten zu treffen, wurde hier ebenfalls eine „Landmarke“ anhand der örtlichen Gegebenheiten gesetzt. Nachdem alle 10 Werte eingelesen und in einer Datei abgelegt waren, wurde die Fahrt gestoppt. Danach wurde der Schleppwagen wieder in die Ausgangsposition gefahren. Zwischen den Messfahrten wurden die erforderlichen Pausen zur Beruhigung des Wasserkörpers eingehalten. Abschließend wurden erneut die statischen Nullwerte in der Startposition aufgenommen. Nach der Veränderung des Gierwinkels begann die nächste Messreihe wieder mit der Messung der statischen Nullwerte. Nachdem alle Gierwinkeleinstellungen vermessen waren, wurde in der Mitte der Messtrecke erneut eine Messung der Nullwerte mit $\beta=0^\circ$ und $v_t=0$ durchgeführt. Für den Aufruf des Programms „Messung.exe“ und die weitere Verarbeitung der Messdaten wurde ein kleines Stapelverarbeitungsprogramm „m.bat“ geschrieben. Dieses ruft zunächst das Programm „Messung.exe“ mit dem erforderlichen Parameter auf und benennt die von „Messung.exe“ erzeugte Datei „ein.dat“ mit den Messdaten in den als Parameter übergebenen Dateinamen um. Anschließend wird der Texteditor mit der neu benannten Datei aufgerufen. Darin wurden die zur Messung gehörenden Einstellungen von Ruder- und Gierwinkel sowie die Schleppgeschwindigkeit in einer Überschrift abgelegt. Der Programmtext lautete:

```
@ echo off
d:/kogge/messung.exe/u
rename eine.dat m%1.dat
edit m%1.dat
@echo on
```

Durchführung der Messungen

Nach dem oben beschriebenen Ablauf wurden die Messungen für das mittschiffs liegende Ruder sowie die Steuerbord-Ruderlagen durchgeführt. Bei der Messung der Backbord-Ruderlagen wurde jeweils nur eine Messfahrt durchgeführt, da die Messungen mit den Steuerbord-Ruderlagen relativ konstante Werte ergeben hatten. Als Kontrolle für diese Werte diente die Überlegung, dass an einem symmetrischen Schiff die Ergebnisse für symmetrische Einstellungen übertragbar sind. Aufgrund der langen Pausen zwischen den einzelnen Messfahrten wurde so erheblich Messzeit eingespart.

Auswertung der Messergebnisse

Die Auswertung der Messdaten erfolge mit Microsoft Excel. Dazu wurden die Daten aus den von „Messung.exe“ erzeugten Textdateien nach Excel importiert. Dabei war die Zuordnung der Spalten zu den Messwerten zu beachten, da „Messung.exe“ keine Spaltenüberschriften mit ausgibt. Die Zuordnung zeigt Abbildung 43, darin sind die fett dargestellten Daten die Ausgabe von „Messung.exe“.

wert1 (Z3)	2.210000E+00
wert2 (Z2)	2.160000E+01
wert3 (Z1)	5.750000E+00
wert4 (Y2)	-6.50000E+00
wert5 (Y1)	8.100000E-01
wert6 (X)	3.140000E+00

Abb. 43: Ausgabe von „Messung.exe“ mit Zuordnung der Spalten (M1001011.dat)

Korrektur der Messdaten

Zuerst wurden aus den Messwerten der einzelnen Messfahrten Mittelwerte gebildet, die anschließend wiederum zu einem Mittelwert zusammengefasst wurden. Danach wurden aus den statischen Nullwertmessungen vor und nach den Messfahrten ebenfalls Mittelwerte gebildet. Diese statischen Nullwerte, die an der Startposition des Schleppwagens gemessen wurden, setzen sich aus zwei Anteilen zusammen. Dies ist der Einfluss der veränderten Eintauchtiefe des Modells von der Messstrecke zur Startposition und der Einfluss des eingestellten Gierwinkels. Da die Waage in der Messstrecke abgeglichen wurde, mussten die Messwerte nur um den Einfluss des Gierwinkels korrigiert werden. Um diesen Einfluss zu erhalten, wurden von den statischen Nullwerten der Einfluss der Eintauchtiefe abgezogen. Der reine Einfluss der Eintauchtiefe lag mit dem statischen Nullwert bei Gierwinkel $\beta=0^\circ$ vor. Die gemittelten Messwerte wurden mit diesen in die Messtrecke übertragenen Nullwerten korrigiert. Daraus wurden die reinen hydrodynamischen Kräfte im raumfesten Koordinatensystem erhalten. Bei der Messreihe mit Ruderwinkel $\delta_r=0^\circ$ wurden die statischen Nullwerte an der Startposition nicht gemessen. Um die Korrektur auf die beschriebene Weise durchführen zu können, wurden die entsprechenden Werte aus den anderen Messreihen mit den verschiedenen Ruderlagen gemittelt und mit den erhaltenen Werten weitergerechnet.

Da die Nullwerte, die in der Mitte der Messstrecke zu Beginn der Messungen und am Ende gemessen wurden, eine Differenz aufwiesen, wurden die Messwerte auch hinsichtlich der zeitlichen Drift korrigiert. Dabei wurde wie auch beim Windkanal von einem linearen Zusammenhang zwischen der Verschiebung der gemessenen Werte und der Zeit ausgegangen. Vom Programm „Messung.exe“ wurde die Zeit der Messung nicht mit ausgegeben. Daher war eine lineare Interpolation der Drift über die Zeit für die Einzelmessungen nicht möglich. Aufgrund der etwa gleichen zeitlichen Abstände der Messfahrten wurde die Drift nach der zeitlichen Abfolge der eingestellten Gierwinkel auf die korrigierten Mittelwerte berücksichtigt. Die Messreihenfolge war jeweils $\beta=0^\circ, 10^\circ, 5^\circ, 2^\circ, -10^\circ, -5^\circ, -2^\circ$. Daraus ergab sich die Berücksichtigung der Drift in Form von Siebenteln der gesamten Drift. Beginnend mit 1/7 für $\beta=0^\circ$ bis hin zu 7/7 bei der jeweils letzten Messung mit $\beta=-2^\circ$.

Berechnung der Kräfte und Momente im raumfesten Koordinatensystem

Mit der bekannten Geometrie der Waage wurden aus dem Kräfte- und Momentengleichgewicht die Kräfte und Momente im raumfesten Koordinatensystem berechnet. Dazu ergibt sich das folgende Gleichungssystem:

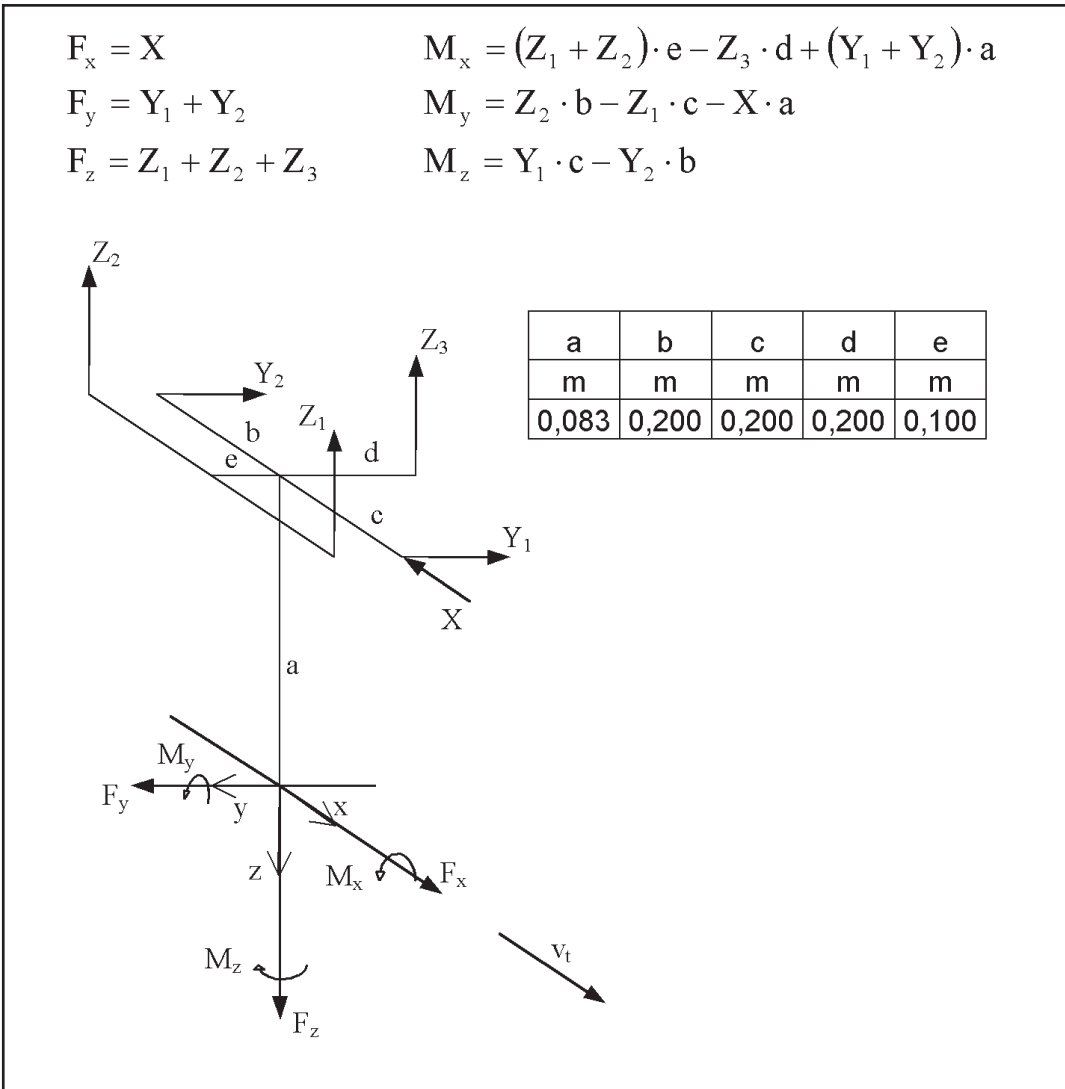


Abb. 44: Kräfte und Momente an der Waage im Schleppkanal im raumfesten Koordinatensystem

Transformation der Kräfte und Momente ins schiffsfeste Koordinatensystem

Zur weiteren Auswertung wurden die Kräfte und Momente in das schiffsfeste Koordinatensystem übertragen. Dabei wurde zunächst als Bezugspunkt der Aufhängepunkt des Modells an der Waage beibehalten.

Aus Abbildung 45 ergeben sich die folgenden Transformationsbeziehungen.

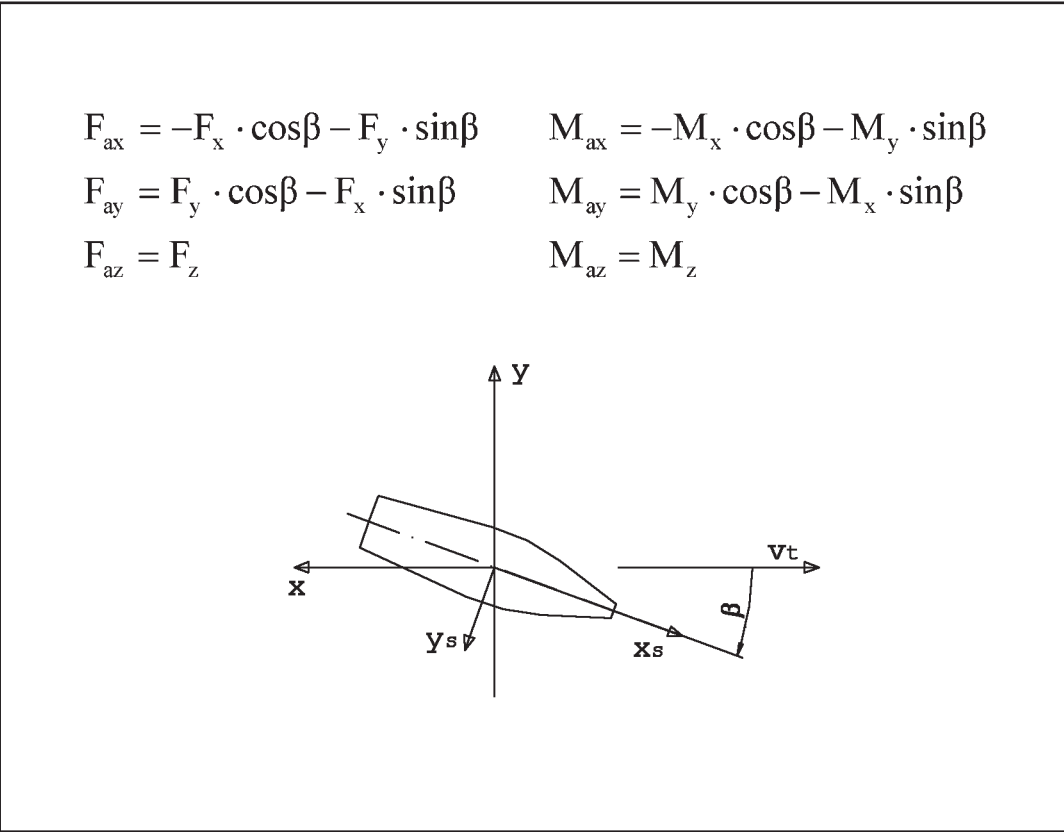


Abb. 45: Kräfte und Momente an der Waage im Schleppkanal im raumfesten Koordinatensystem

Im Anschluss daran wurde der Ursprung des schiffsfesten Koordinatensystems in den Flächenschwerpunkt der Unterwasserlateralfäche gelegt.

Die zuvor berechneten Kräfte werden dadurch nicht verändert, so dass gilt $F_{is}=F_{ai}$ für die Momente ergeben sich die folgenden Gleichungen. Dabei sind x_a, y_a und z_0 die Koordinaten des Aufhängepunktes bezüglich des Flächenschwerpunktes der Unterwasserlateralfäche.

x_a	y_a	z_a
M	m	m
0,004	0,003	-0,248

$M_{xs} = M_{ax} - F_{ay} \cdot z_a + F_{az} \cdot y_a$
 $M_{ys} = M_{ay} - F_{az} \cdot x_a + F_{ax} \cdot z_a$
 $M_{zs} = M_{az} - F_{ax} \cdot y_a + F_{ay} \cdot x_a$

mit am Modell

Berechnung der Beiwerte

Mit diesen Kräften und Momenten wurden die Beiwerte wie bei den Messungen im Windkanal berechnet. Als charakteristische Größen wurden nun die Unterwasserlateralfäche sowie die Länge der Konstruktionswasserlinie einschließlich Ruder verwendet. Zur Bestimmung der Dichte des Wassers wurde die Temperatur gemessen und die entsprechende Dichte aus einem Tafelwerk abgelesen. Die Berechnung der Beiwerte erfolgte mit den folgenden Gleichungen.

$L_{KWL,bw}$	$A_{lat,bw}$
M	m ²
1,283	0,1355

$cF_{is} = \frac{F_{is}}{\frac{\rho_w \cdot v_t^2 \cdot A_{lat,bw}}{2}}$
 $cM_{is} = \frac{M_{is}}{\frac{\rho_w \cdot v_t^2 \cdot A_{lat,bw} \cdot L_{KWL,bw}}{2}}$

mit am Modell

Die gewonnenen Beiwerte wurden für die untersuchten Ruderlagen in Diagrammen über dem Gierwinkel aufgetragen. Alle Diagramme sind am Ende des Kapitels aufgeführt.

Ergebnisse

Ein wichtiges Ergebnis für die Berechnung der Leistungsfähigkeit der Kogge ist, dass die Kraft F_{xs} in Schiffslängsrichtung in den untersuchten Parameterbereichen unabhängig von Ruderlage und Gierwinkel ist. Dies zeigt Abbildung 46.

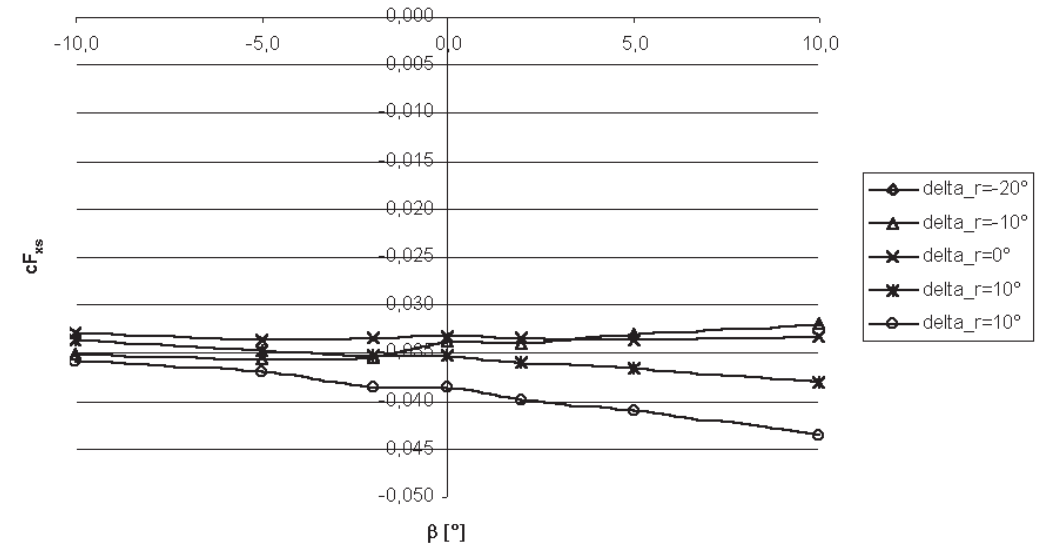


Abb. 46: Längskraftbeiwerte am Unterwasserschiff bei verschiedenen Ruderwinkeln δ_r

Die Querkraft F_{ys} verläuft nahezu linear über dem Gierwinkel. Eine Veränderung des Ruderwinkels bewirkt eine Parallelverschiebung des Graphen. Dabei wird die Querkraft mit positiveren Ruderlagen ebenfalls größer. In den Abbildungen 47/48 wird dieser Zusammenhang deutlich.

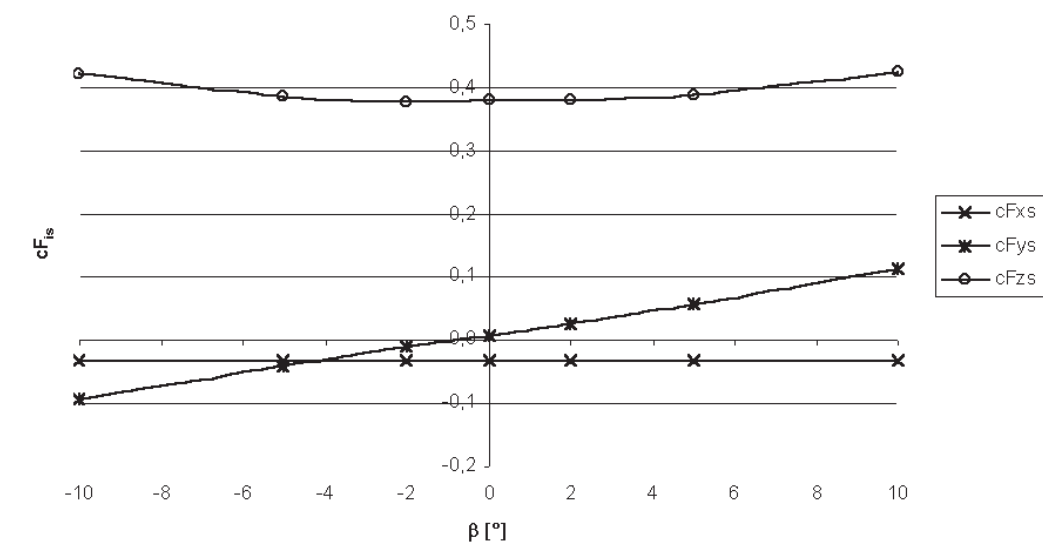


Abb. 47: Kraftbeiwerte am Unterwasserschiff bei $v_t=1,0$ m/s und $\delta_r=0^\circ$

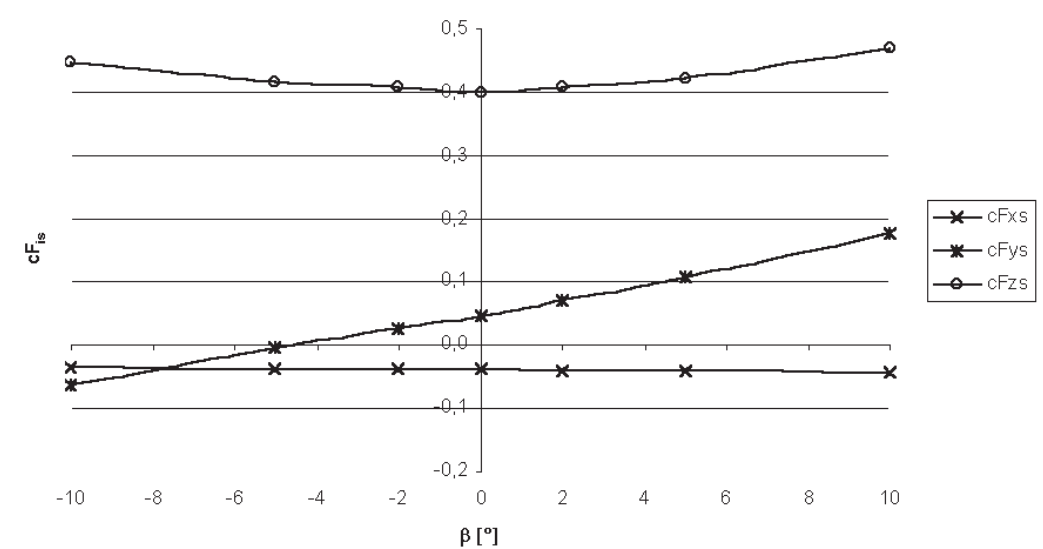


Abb. 48: Kraftbeiwerte am Unterwasserschiff bei $v_t=1,0$ m/s und $\delta_r=20^\circ$

Die zweite Größe, die wesentlich vom Ruderwinkel beeinflusst wird, ist das Giermoment M_{zs} . Das Giermoment resultiert aus der Querkraftverteilung über die Schiffslänge. Durch das Legen des Ruders zu einer Seite wird auf dieser Seite die Strömung abgebremst. Dabei hat das Ruder nicht nur Auswirkungen auf die Strömung am Ruder und weiter achteraus sondern beeinflusst auch die Umströmung des Rumpfes weiter vorne. Nach der Gleichung von Bernoulli steigt damit der statische Druck in der Strömung und somit die Querkraft auf das Schiff im Bereich der verzögerten Strömung. Da diese Effekte im achteren Bereich des Schiffes auftreten, bewirkt eine Verzögerung der Strömung beispielsweise an Steurbordseite durch eine Stb-Ruderlage ein positives Giermoment, dem entsprechend führt eine Auslenkung des Ruders nach Backbord zu einem negativen Giermoment.

In den Abbildung 49 und 50 wird der nichtlineare Zusammenhang zwischen dem Gierwinkel und dem Giermoment bei den Messungen mit $\delta_r=\pm 20^\circ$ deutlich. Dies resultiert aus den komplizierten Strömungsverhältnissen am Rumpf.

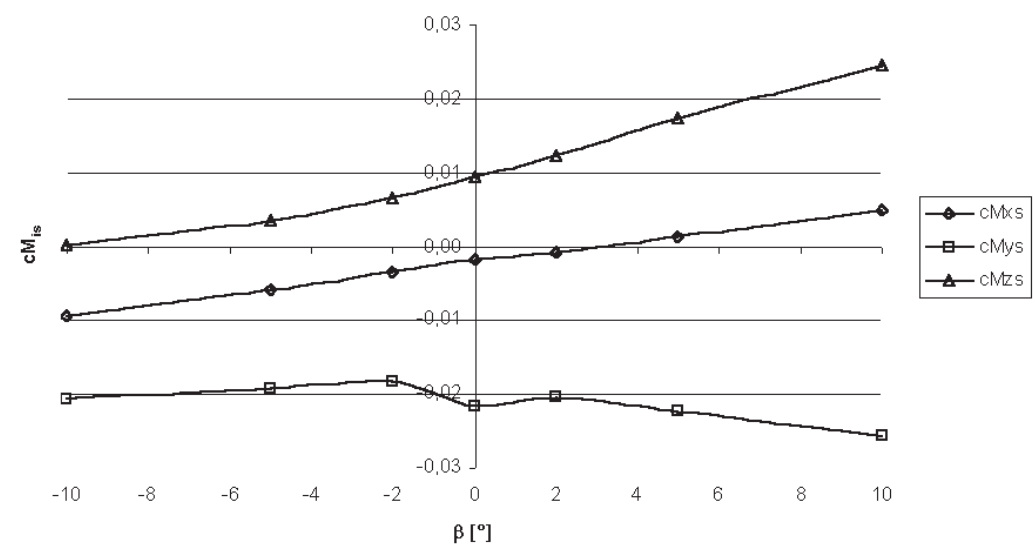


Abb. 49: Momentbeiwerte am Unterwasserschiff bei $v_t=1,0$ m/s und $\delta_r=-20^\circ$

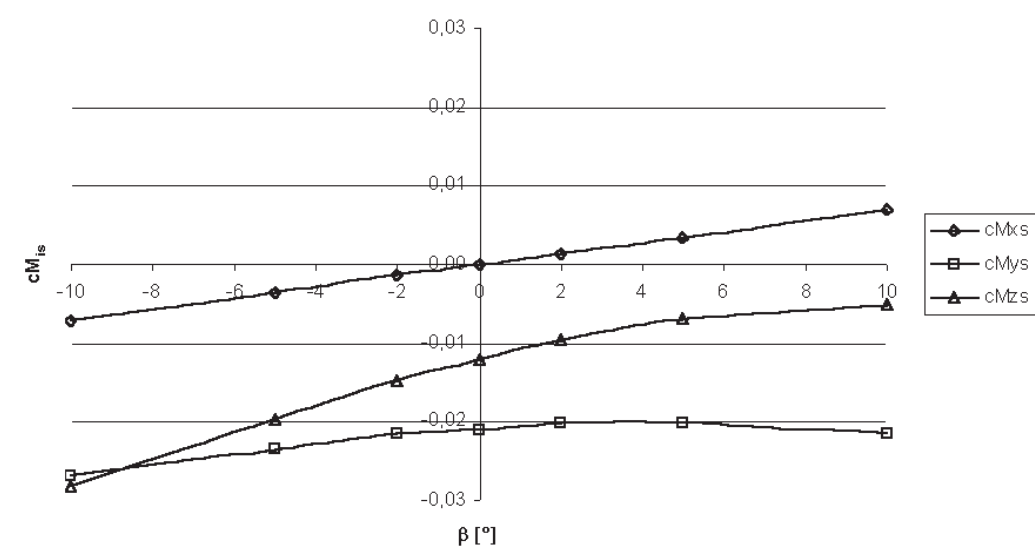


Abb. 50: Momentbeiwerte am Unterwasserschiff bei $v_t=1,0$ m/s und $\delta_r=20^\circ$

Aufgrund der Auswirkungen des Ruders auf die gesamte Umströmung des Rumpfes ist es nicht möglich, Aussagen über die Belastungen am Ruder zu treffen, wenn nur Querkraft und Giermoment bekannt sind.

Bei allen Ruderlagen und Gierwinkeln wurde eine abwärts gerichtete Kraft gemessen, die deutlich größer war als die hydrodynamischen Kräfte in der horizontalen Ebene. Diese Kraft ist der hydrodynamische Abtrieb, der aus der Beschleunigung der Strömung am Rumpf entsteht. Bei einem frei fahrenden Schiff führt diese Kraft zu einer dynamischen Tiefertauchung. Dieser Effekt wurde bei den Messungen nicht berücksichtigt.

Zusammen mit Abbildung 47 wird in Abbildung 51 deutlich, dass das Modell nicht vollständig symmetrisch war. Die Querkraft wird bei einem kleinen negativen Gierwinkel gleich null während das Giermoment bei einem kleinen positiven Gierwinkel verschwindet.

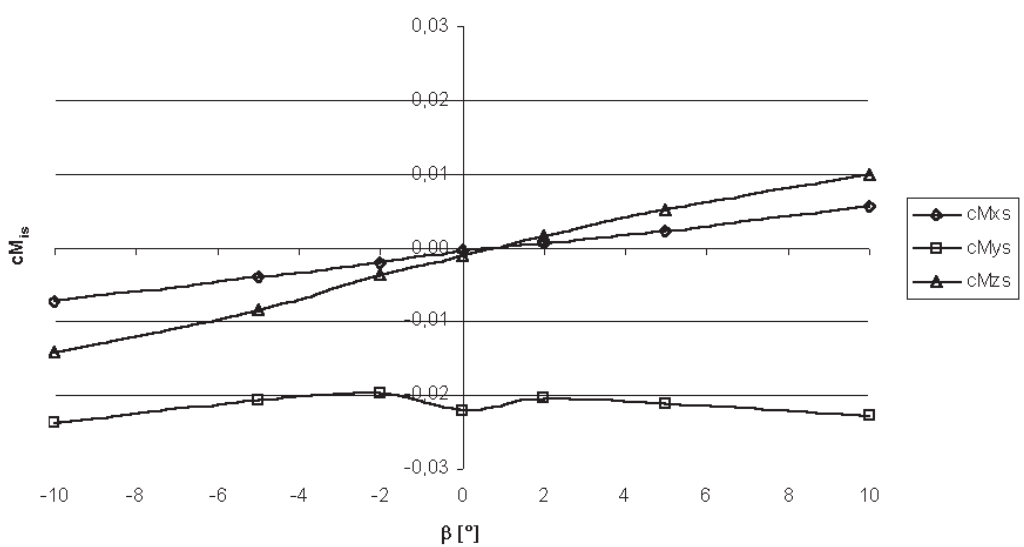


Abb. 51: Momentbeiwerte am Unterwasserschiff bei $v_t=1,0$ m/s und $\delta_r=0^\circ$

Für den Fall, dass ein symmetrisches Schiff nicht genau in Längsrichtung ausgerichtet wäre, müssten Giermoment und Querkraft gleichzeitig verschwinden. In den Abbildungen 52 und 53 wurden die Ergebnisse bei den Schleppgeschwindigkeiten $v_t=0,5$ m/s und $v_t=1,0$ m/s für die neutrale Ruderlage dargestellt. Dabei wird deutlich, dass die Längskraft im betrachteten Bereich unabhängig von der Schleppgeschwindigkeit ist. Bei der Querkraft und der vertikalen Kraft ist eine Verschiebung zu beobachten. Der Verlauf der Momente ist dagegen nur noch ähnlich. Daraus ist zu schließen, dass sich die Verteilung der Kräfte über die Oberfläche mit der Geschwindigkeit ändert.

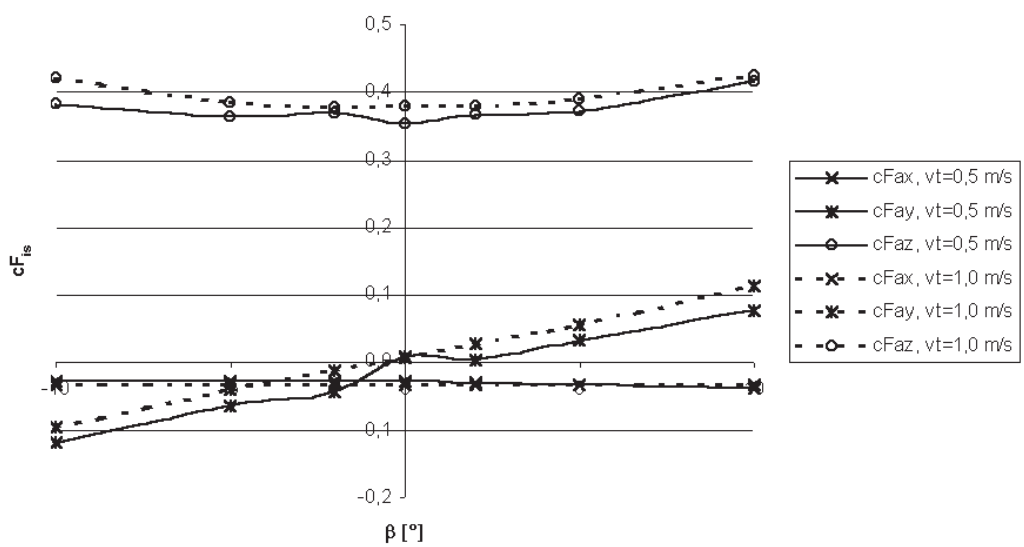


Abb. 52: Kraftbeiwerte am Unterwasserschiff bei $v_t=0,5$ m/s und $v_t=1,0$ m/s für $\delta_r=0^\circ$

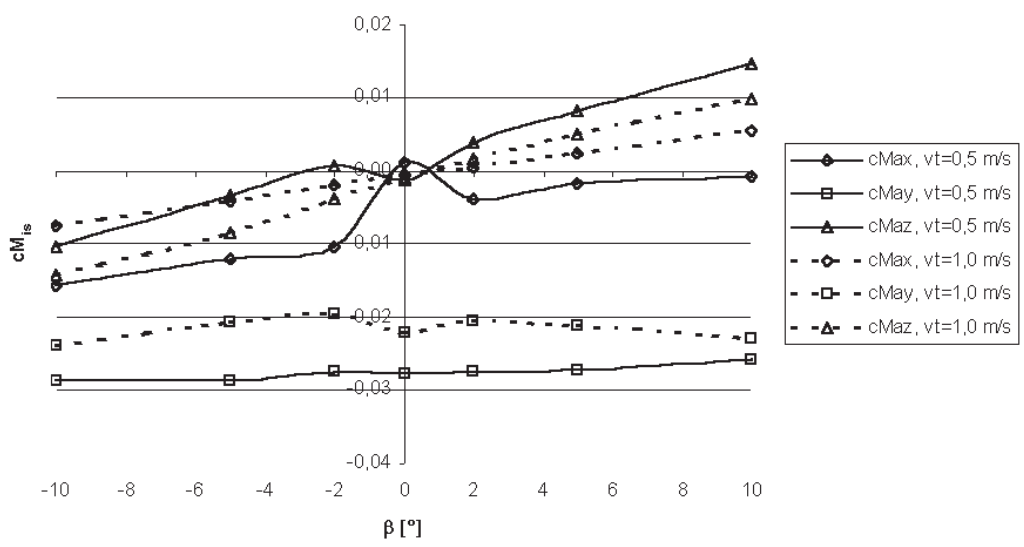


Abb. 53: Momentbeiwerte am Unterwasserschiff bei $v_t=0,5$ m/s und $v_t=1,0$ m/s für $\delta_r=0^\circ$

Leistungsfähigkeit der Kogge

Unter der Leistungsfähigkeit der Kogge wird im Rahmen der Auswertung beider Versuche die Fahrt relativ zum absoluten Wind durch ruhendes Wasser verstanden. Um in dieser Hinsicht Aussagen zu treffen, wurden die Ergebnisse der Messungen am Über- und Unterwasserschiff zusammengeführt. Die vorangegangenen Messungen wurden unter der Annahme durchgeführt, dass das Schiff aufrecht schwimmt und dass sich dies auch während der Fahrt nicht durch äußere Einflüsse ändert. Daher erfolgt die Berechnung der Fahrtzustände nur in der horizontalen Ebene. Weiterhin wurde die Leistungsfähigkeit nur für stationäre Fahrt berechnet.

Die Geschwindigkeit und der gefahrene Kurs zum absoluten Wind ergeben sich aus dem Kräfte- und Momentengleichgewicht in der horizontalen Ebene am Schiff. Wenn sich das Schiff stationär bewegt, heben sich die resultierende Kraft und das resultierende Moment vom Über- und Unterwasserschiff gegen einander auf. Diese Berechnungen werden an der Großausführung durchgeführt.

Kräftegleichgewicht in Schiffslängsrichtung

Da der Beiwert der Längskraft am Unterwasserschiff unabhängig vom Ruder- und Gierwinkel ist, kann aus dem Kräftegleichgewicht in Schiffslängsrichtung die Geschwindigkeit v_s des Schiffes im ruhenden Wasser berechnet werden. Dazu wird zunächst das Kräftegleichgewicht aufgestellt.

$$F_{xs,aw} + F_{xs,bw} = 0$$

$$cF_{xs,aw} \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot v_r^2 \cdot A_{lat,aw} = -cF_{xs,bw} \cdot \frac{\rho_W}{2} \cdot v_s^2 \cdot A_{lat,bw}$$

Bei vorgegebener Segeleinstellung ist der Längskraftbeiwert vom Überwasserschiff bekannt. Mit einer angenommenen Dichte der Luft von $\rho_L=1,2 \text{ kg/m}_3$ sowie einem ebenfalls vorgegebenen scheinbaren Wind mit $v_r=10 \text{ m/s}$ kann die linke Seite der Gleichung bestimmt werden. Durch Umstellen lässt sich nun bei einer angenommenen Dichte des Wassers von $\rho_W=1025 \text{ kg/m}_3$ bei Seewasser und dem aus den Messungen gewonnenen Beiwert $cF_{xs,bw}$ die sich einstellende Geschwindigkeit der Kogge durch ruhendes Wasser berechnen.

$$v_s = \sqrt{\frac{-2 \cdot F_{xs,aw}}{cF_{xs,bw} \cdot \rho_W \cdot A_{lat,bw}}}$$

Die Wurzel ist nur mit dem negativen Vorzeichen reell, da der Beiwert am Unterwasserschiff negativ ist.

Kräftegleichgewicht in Querrichtung und Momentengleichgewicht

Nun können aus den beiden verbliebenen Gleichgewichten die erforderlichen Beiwerte für die Querkraft und das Giermoment berechnet werden.

$$cF_{ys} = -\frac{F_{ys,aw}}{\frac{\rho_W}{2} \cdot v_s^2 \cdot A_{lat,bw}}$$

$$cM_{zs} = -\frac{M_{zs,aw}}{\frac{\rho_W}{2} \cdot v_s^2 \cdot A_{lat,bw} \cdot L_{KWL,bw}}$$

Diese Beiwerte sind Funktionen des Ruderwinkels und des Gierwinkels. Zur mathematischen Erfassung dieser Abhängigkeit wurden die Verläufe des Querkraft- und Giermomentenbeiwertes als Ausgleichspolynome mit den Variablen δ_r und β dargestellt.

Darstellung und Korrektur der Beiwerte cF_{ys} und cM_{zs}

Zunächst wurden in einem Diagramm die Giermomentenbeiwerte über den Querkraftbeiwerten mit dem Ruderwinkel und dem Gierwinkel als Parameter aufgetragen. Dadurch wird eine Fläche aufgespannt, auf der sich alle im Rahmen der durchgeführten Messungen möglichen Kombinationen vom Querkraft- und Giermomentenbeiwert bewegen können. Aus diesem Diagramm kann für ein berechnetes Paar Beiwerte der Ruder- und Gierwinkel abgelesen werden, die zur Aufbringung dieser Beiwerte erforderlich sind. So könnten für alle zu bestimmenden Fahrtzustände die zugehörigen Ruder- und Gierwinkel bestimmt werden. Das Diagramm ist in Abbildung 54 dargestellt.

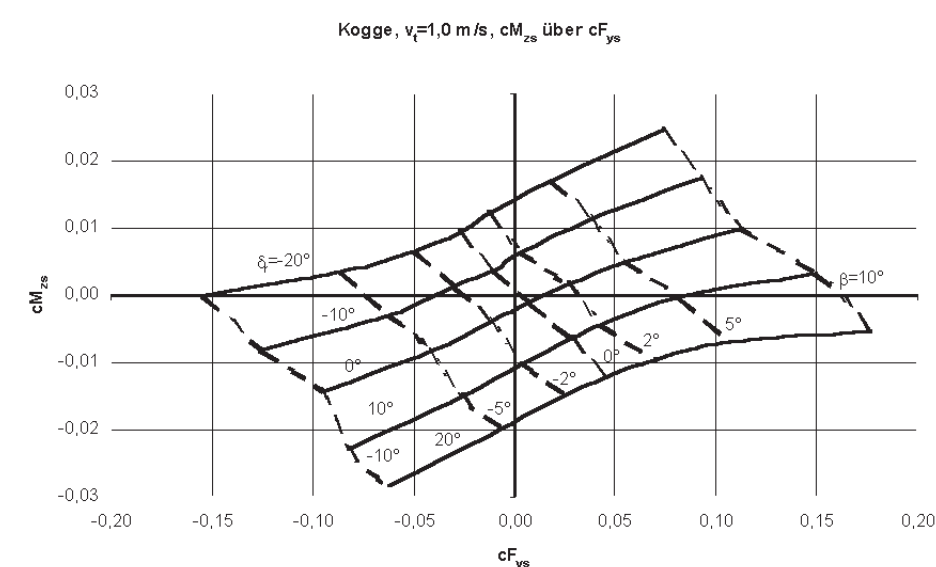


Abb. 54: Querkraft- und Giermomentenbeiwerte in Abhängigkeit von den Parametern Ruderwinkel δ_r und Gierwinkel β am Unterwasserschiff bei $v_r=1,0 \text{ m/s}$

In dem Diagramm wird deutlich, dass bei einem Ruderwinkel $\delta_r=0^\circ$ und einem Gierwinkel $\beta=0^\circ$ das Schiff nicht querkraft- und giermomentenfrei ist, wie es theoretisch von einem exakt ausgerichteten symmetrischen Schiff zu erwarten ist. Weiterhin ist festzustellen, dass der Verlauf der Kurven nicht antimetrisch zu dem Schnittpunkt der Parameterlinien $\delta_r=0^\circ$ und $\beta=0^\circ$ ist. Für die weitere Berechnung wurde nur die Verschiebung korrigiert, indem von allen Beiwerten die Werte bei $\delta_r=0^\circ$ und $\beta=0^\circ$ abgezogen wurden. Damit ist in der weiteren Betrachtung das Schiff bei Fahrt in Schiffslängsrichtung mit Ruder mittschiffs querkraft- und giermomentenfrei. Daraus ergibt sich das in Abbildung 55 dargestellte korrigierte Diagramm.

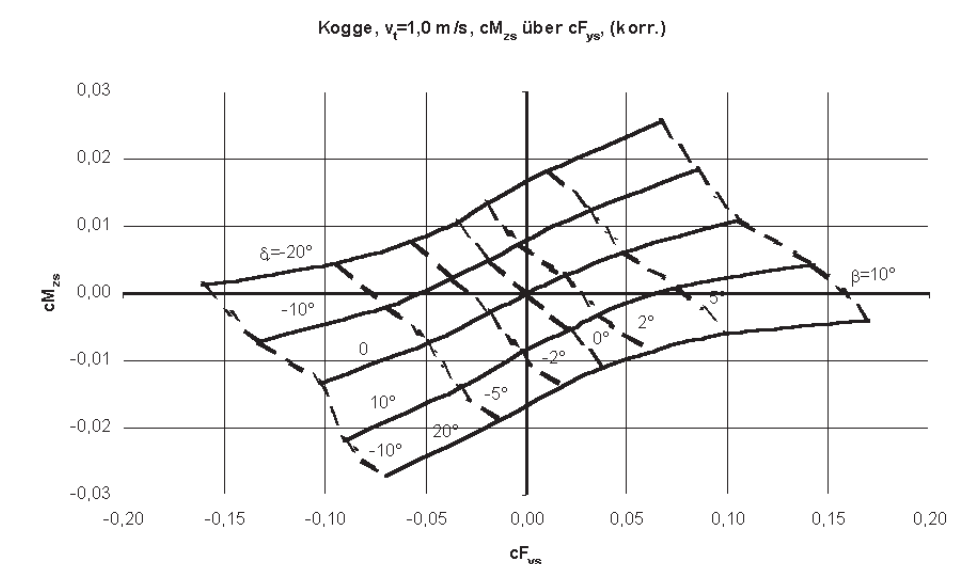


Abb. 55: korrigiertes Diagramm der Querkraft und Giermomentenbeiwerte

Ausgleichspolynome für cF_{ys} und cM_{zs}

Um das Bestimmen der zu einem Beiwertepaar gehörenden Ruder- und Gierwinkel zu automatisieren, wurde die Parameterdarstellung in Ausgleichspolynome überführt. Zum Aufstellen der Ausgleichspolynome wurden im ersten Schritt die Verläufe des Querkraftbeiwertes und des Momentenbeiwertes mit dem Ruderwinkel als Parameter über dem Gierwinkel dargestellt. Diese Graphen wurden durch Excel mit Ausgleichspolynomen 3. Ordnung angenähert. Anschließend wurden die Koeffizienten der einzelnen Glieder mit der Ordnung ihrer Potenz als Parameter über dem Ruderwinkel aufgetragen und diese Verläufe ebenfalls durch Ausgleichspolynome annähern lassen.

Die Koeffizienten dieser letzten Ausgleichspolynome wurden in eine Koeffizientenmatrix A eingetragen, mit deren Hilfe sich nun die Ausgleichspolynome für cF_{ys} und cM_{zs} wie folgt darstellen lassen.

$$\begin{aligned} cF_{ys} &= \left(\underline{A_f} \cdot \underline{R} \right)^T \cdot \underline{B} \\ cM_{zs} &= \left(\underline{A_m} \cdot \underline{R} \right)^T \cdot \underline{B} \end{aligned}$$

mit den Vektoren \underline{R} und \underline{B} der Potenzen von δ_r bzw. β

$$\underline{R} = \begin{Bmatrix} \delta_r^3 \\ \delta_r^2 \\ \delta \\ 1 \end{Bmatrix} \quad \text{und} \quad \underline{B} = \begin{Bmatrix} \beta^3 \\ \beta^2 \\ \beta \\ 1 \end{Bmatrix}$$

sowie den jeweiligen Koeffizientenmatrizen A_f für die Querkraftbeiwerte bzw. A_m für die Giermomentenbeiwerte. Bei einer Darstellung der Winkel im Bogenmaß ergaben sich die folgenden Koeffizientenmatrizen

$$A_f = \begin{pmatrix} -6.6694 & 0.9246 & -1.1184 & 2.1588 \\ -2.4844 & -0.5937 & 1.2829 & 0.0732 \\ -0.6489 & 0.4240 & 0.1854 & 0.5514 \\ 0.0502 & 0.0141 & 0.1045 & -0.0005 \end{pmatrix} \quad A_m = \begin{pmatrix} 3.8402 & -0.1519 & -0.4103 & -0.3311 \\ -0.0580 & 0.0380 & -0.3449 & -0.0355 \\ -0.2335 & -0.0317 & 0.0212 & 0.0831 \\ 0.0016 & 0.0000 & -0.0310 & -0.0003 \end{pmatrix}$$

Diese Matrizen wurden in Dateien abgelegt.

Zur Kontrolle wurden mit den Ausgleichspolynomen die gemessenen Werte bei den vorgegebenen Parametereinstellungen für δ_r und β nachgerechnet. Das Ergebnis dieser Nachrechnung ist in Abbildung 56 dargestellt.

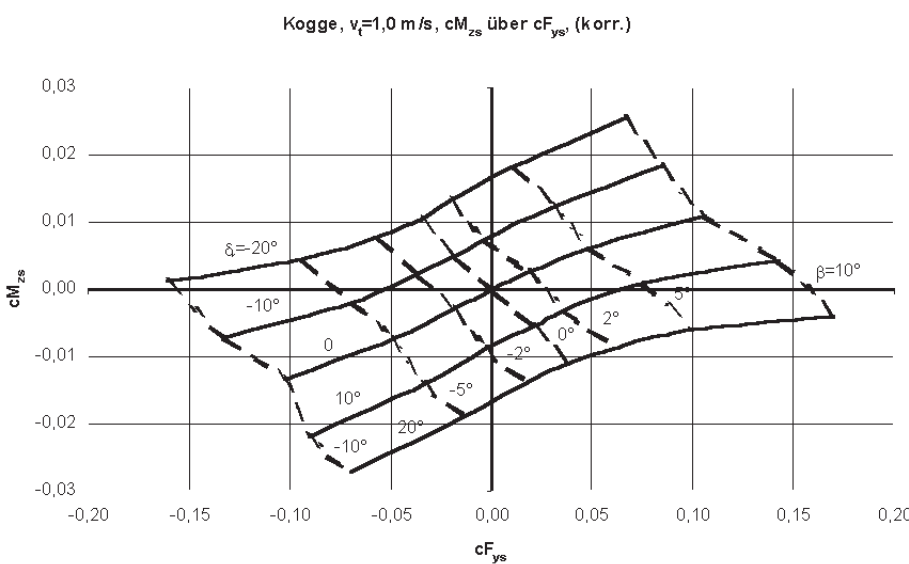


Abb. 56: Querkraft- und Giermomentenbeiwerte in Abhängigkeit von den Parametern Ruderwinkel δ_r und Gierwinkel β am Unterwasserschiff, berechnet mit den Ausgleichspolynomen für den korrigierten Fall

Berechnung des Ruderwinkels δ_r und des Gierwinkels β

Mit den aus den Gleichgewichten berechneten erforderlichen Beiwerten stehen nun zwei nichtlineare Gleichungen für die Berechnung des Ruderwinkels δ_r und des Gierwinkels β zur Verfügung.

Zur Lösung dieser Gleichungen wurde das Programm Mathcad verwendet. mit diesem Programm ist es möglich, die Lösungen nichtlinearer Gleichungssysteme nach der Methode der minimalen Fehlerquadrate berechnen zu lassen. Die erforderlichen Randbedingungen wurden in der Form von Vektorgleichungen formuliert.

Damit war es möglich, die erforderlichen Beiwerte von Excel zu importieren und relativ schnell die zugehörigen Ruder- und Gierwinkel für die verschiedenen Segelstellungen zu berechnen. Bei den Ergebnissen dieser Berechnung ist darauf zu achten, dass die ermittelten Werte für δ_r und β im Bereich der vermessenen Parameterbereiche liegen.

Nur wenn das der Fall ist, kann mit dem Ergebnis weitergerechnet werden, da die Ausgleichspolynome nur innerhalb der gemessenen Werte eine gute Annäherung an die gemessenen Werte darstellt.

Berechnung des Kurses zum absoluten Wind und der Geschwindigkeit

Mit dem berechneten Gierwinkel und dem ebenfalls aus Excel importierten zugehörigen Anströmwinkel ε des Überwasserschiffs ergibt sich aus Abbildung 57 der Winkel α zwischen dem scheinbaren Wind v_r und der Schiffsgeschwindigkeit v_s .

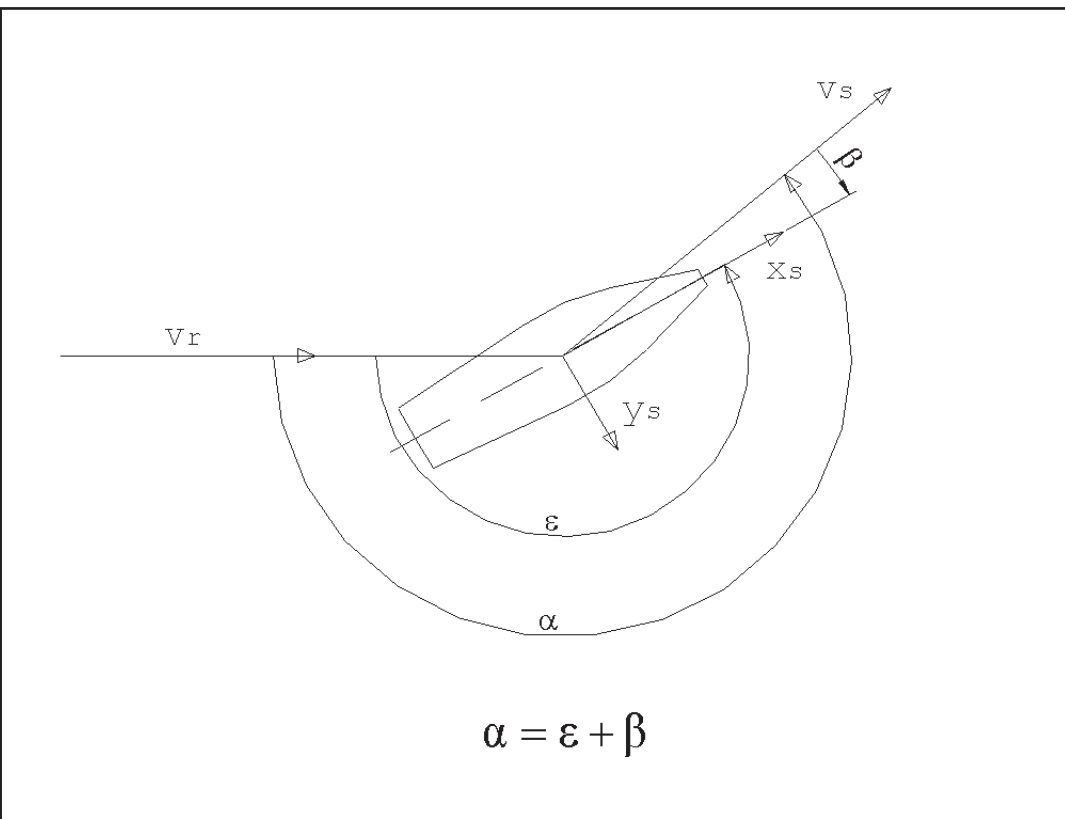


Abb. 57: Definition des Winkels α zwischen v_r und v_s

Aus der Definition des absoluten Windes lässt sich nun mit Hilfe von α die Geschwindigkeit des absoluten Windes v_a und der Kurswinkel κ nach den folgenden Gleichungen berechnen. Abbildung 58 zeigt die Zusammenhänge.

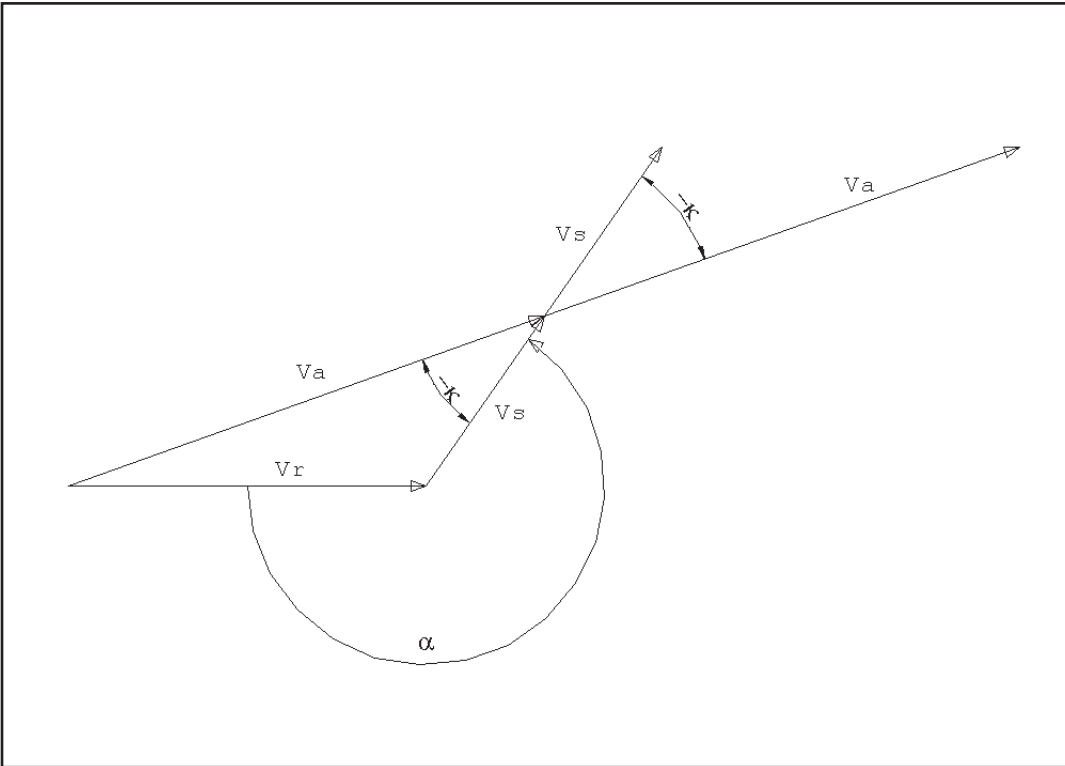


Abb. 58: Berechnung von v_a und κ

Aus dem Cosinus-Satz folgt

$$v_a = \sqrt{v_r^2 + v_s^2 - 2 \cdot v_r \cdot v_s \cdot \cos(-\alpha)}$$

Mit dem Sinus-Satz lässt sich κ folgendermaßen ausdrücken

$$\kappa = \arcsin\left(\frac{v_r}{v_a} \cdot \sin(-\alpha)\right)$$

Mit den Beziehungen für den Sinus und Cosinus ergibt sich schließlich

$$\sin(-\alpha) = -\sin(\alpha) \quad \cos(-\alpha) = \cos(\alpha)$$

$$v_a = \sqrt{v_r^2 + v_s^2 - 2 \cdot v_r \cdot v_s \cdot \cos(\alpha)}$$

$$\kappa = \arcsin\left(\frac{v_r}{v_a} \cdot \sin(-\alpha)\right)$$

Darstellung der Ergebnisse

Nach der Normierung der berechneten Schiffsgeschwindigkeit v_s mit der Geschwindigkeit des absoluten Windes v_a lassen sich allgemein gültige Diagramme erstellen, in denen die Leistungsfähigkeit der Kogge dargestellt wird. Ein Beispiel für diese Fahrt diagrams zeigt Abbildung 59.

Darin ist in einem Polardiagramm für die angegebene Segelstellung die Geschwindigkeit der Kogge durch das ruhende Wasser als Länge der Strahlen dargestellt. Der Kurswinkel erscheint zwischen der Nullrichtung und den Strahlen für die Schiffsgeschwindigkeit. Es ist auch möglich, den scheinbaren Wind aus dem Diagramm abzulesen. Dazu wird vom Endpunkt eines Geschwindigkeitsvektors eine Linie zum Punkt ($v/v_a=1$, $\kappa=0$) gezogen. Die Länge der Linie entspricht gemäß dem Maßstab des Diagramms dem Verhältnis der scheinbaren Windgeschwindigkeit zur Geschwindigkeit des absoluten Windes. Leider wurde bisher keine Möglichkeit gefunden, den Ruderwinkel in übersichtlicher Form mit anzugeben.

Aus diesen Diagrammen kann die Leistungsfähigkeit der Kogge abgelesen werden. Es wurden nur die Ergebnisse der Berechnungen mit den Brasswinkeln nach Steuerbord eingetragen. Die Fahrtzustände für die entsprechenden Einstellungen der Rah nach Backbord können durch Spiegelung der Diagramme an der Richtung des absoluten Windes erhalten werden.

Diskussion der Ergebnisse

Aus den Diagrammen geht deutlich hervor, dass die Kogge nur vor dem Wind bis hin zu Halbwindkursen gesegelt werden kann. Dabei steigt mit zunehmender Veränderung des Anströmwinkels ϵ aus der senkrechten Anströmung heraus die Geschwindigkeit der Kogge zunächst an, bevor sie zum Ende des Arbeitsbereiches eines Segels abfällt.

Daran ist deutlich die versperrende Wirkung des Achterkastells zu erkennen, die bereits bei der Auswertung der Messungen am Überwasserschiff diskutiert wurde. Abhilfe könnte hier die Veränderung des massiven Schanzkleides, wie es an den Modellen ausgeführt war, in eine offene Reling bieten. Bei den Ruderwinkeln fällt auf, dass sie allesamt negativ sind. Dies bedeutet, dass die Kogge bei Wind von Backbord achteraus mit Steuerbord-Ruderlagen auf Kurs gehalten werden muss. Diese Luvgerigkeit kann durch eine Veränderung der Mastposition nach vorne vermindert werden. Auch nach Betrachtung von Bildern anderer groß ausgeführter Koggen wie der UBENA aus Bremen oder der Kieler Hansekogge ergab sich eine sinnvolle Verschiebung des Mastes um etwa 2 m nach vorne.

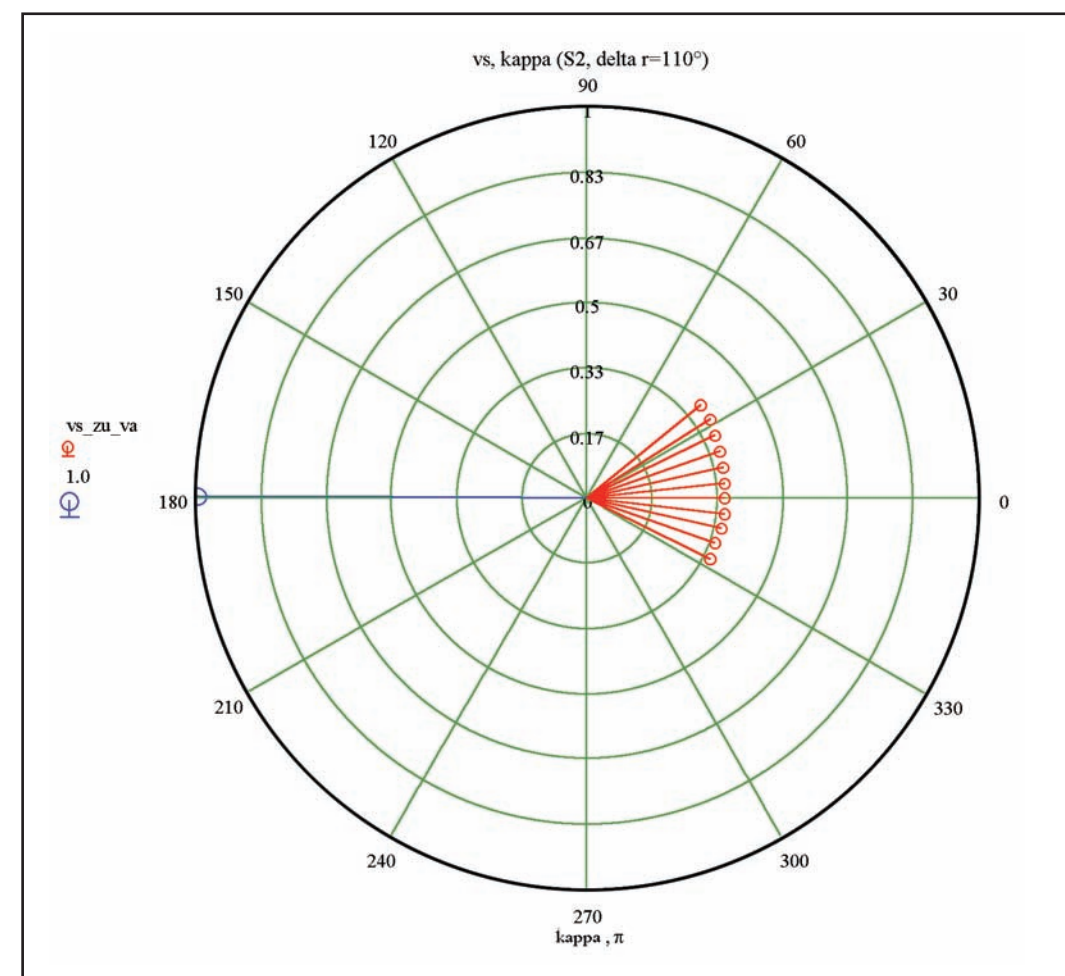
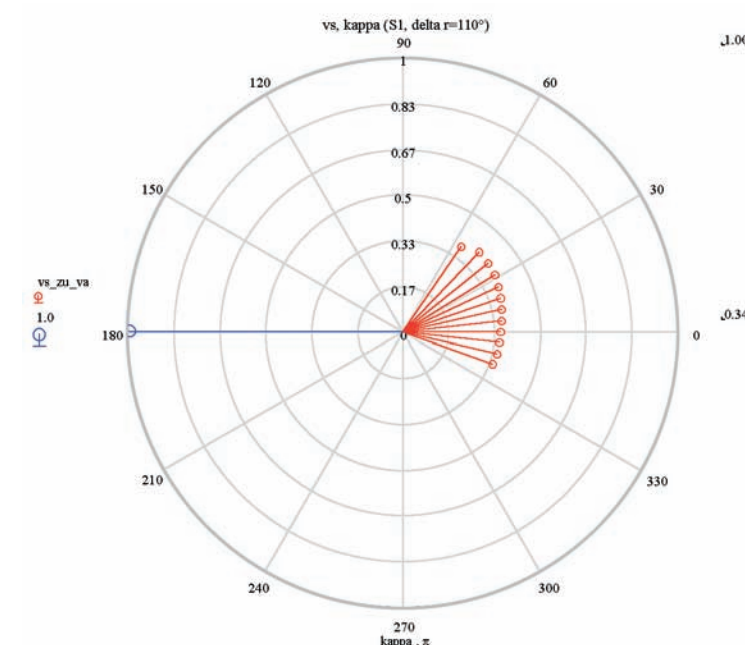
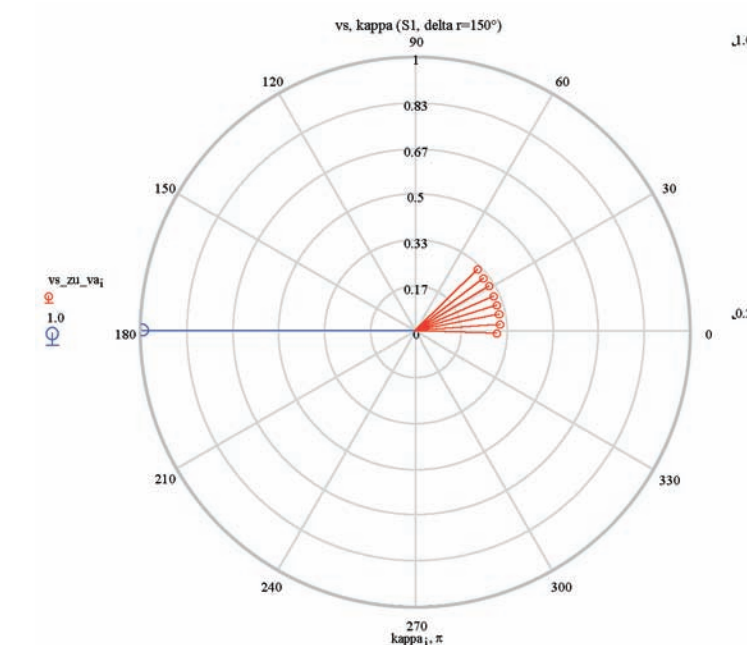


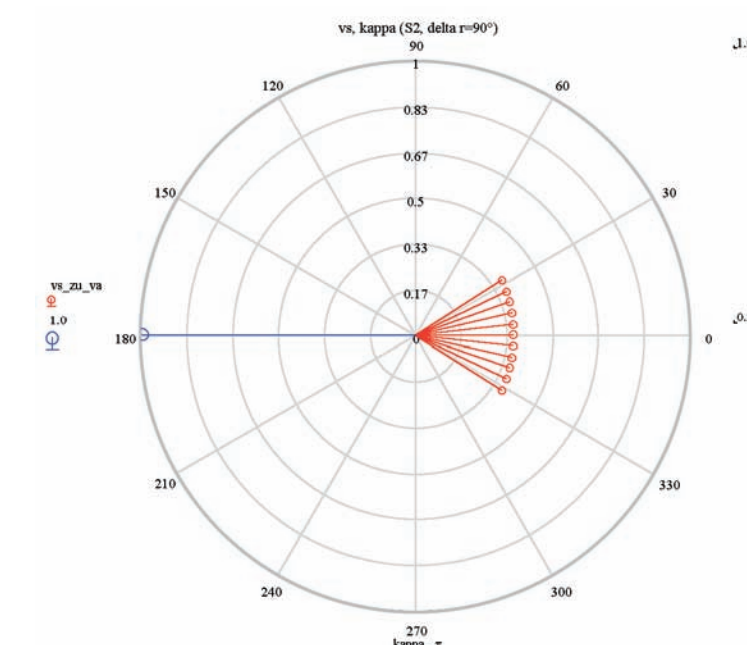
Abb. 59: Fahrtzustandsdiagramm für das Segel S2 bei $\delta_b=110^\circ$



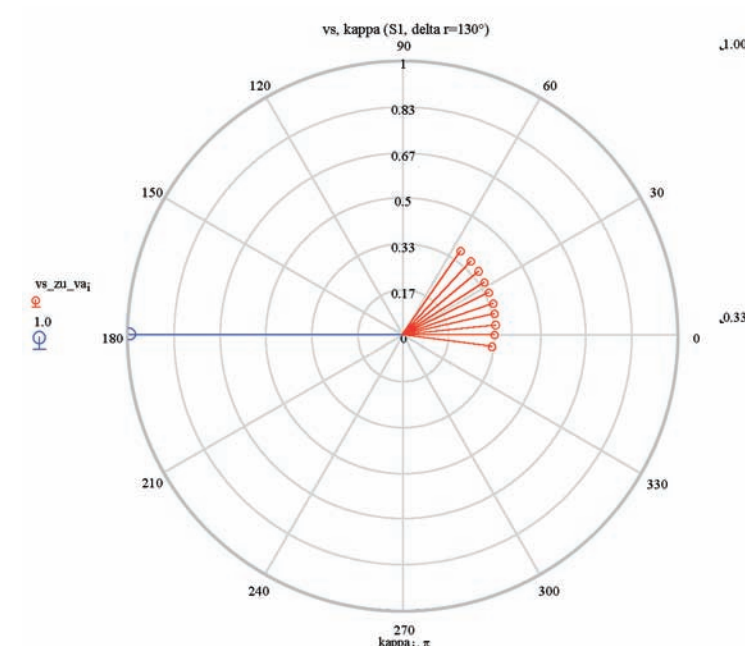
S1, beta=110°		
$\kappa / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	$\delta r / ^\circ$
-19,8	0,2	-1,0
-13,1	0,0	-3,1
-6,6	-0,2	-4,9
-0,2	-0,3	-6,5
6,1	-0,4	-7,6
12,4	-0,7	-8,0
18,7	-0,8	-8,5
25,2	-0,9	-8,6
31,8	-1,1	-9,6
38,7	-1,5	-10,3
46,2	-2,0	-11,3
55,8	-2,8	-14,5



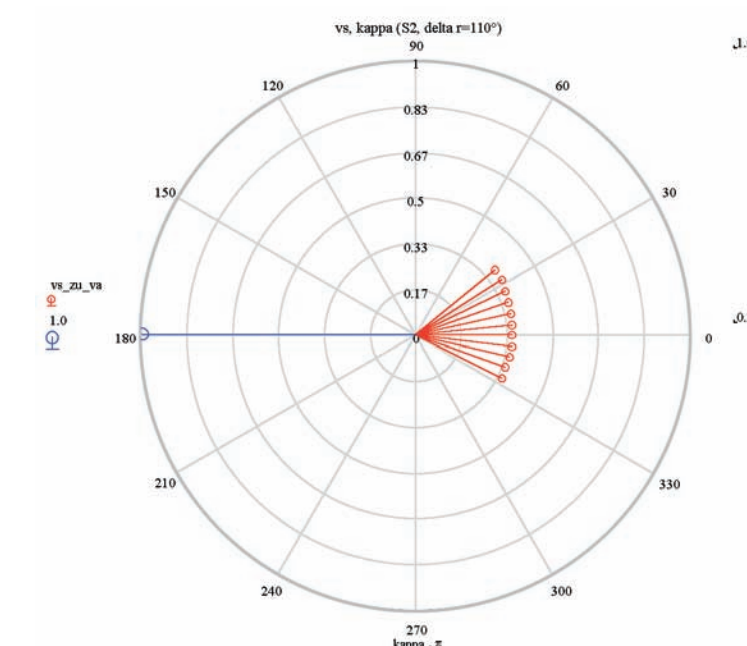
S1, beta=150°		
$\kappa / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	$\delta r / ^\circ$
-2,3	-3,3	-7,0
4,0	-4,2	-8,2
10,9	-4,3	-9,0
17,5	-5,0	-9,9
24,1	-5,9	-9,4
31,0	-6,7	-8,3
37,8	-7,9	-6,0
44,6	-9,4	-3,0
51,9	-11,3	-0,4
59,6	-13,3	3,5
67,3	-16,0	8,4
74,8	-20,0	16,3
82,4	-24,5	22,7
87,8	-31,6	26,8
88,7	-41,2	-4,6
57,4	-33,8	28,0



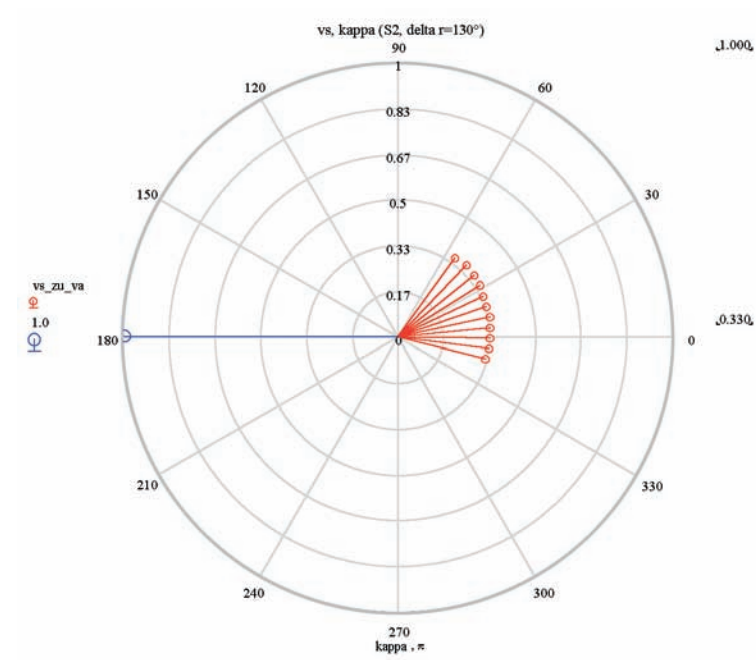
S2, beta=90°		
$\kappa / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	$\delta r / ^\circ$
-32,5	1,3	1,5
-25,8	0,9	1,5
-19,1	0,7	1,2
-12,7	0,3	1,0
-6,4	0,1	0,4
0,0	0,1	0,1
6,4	-0,1	-0,1
12,7	-0,3	-0,5
19,2	-0,5	-1,3
25,8	-0,8	-1,2
32,6	-1,2	-1,3



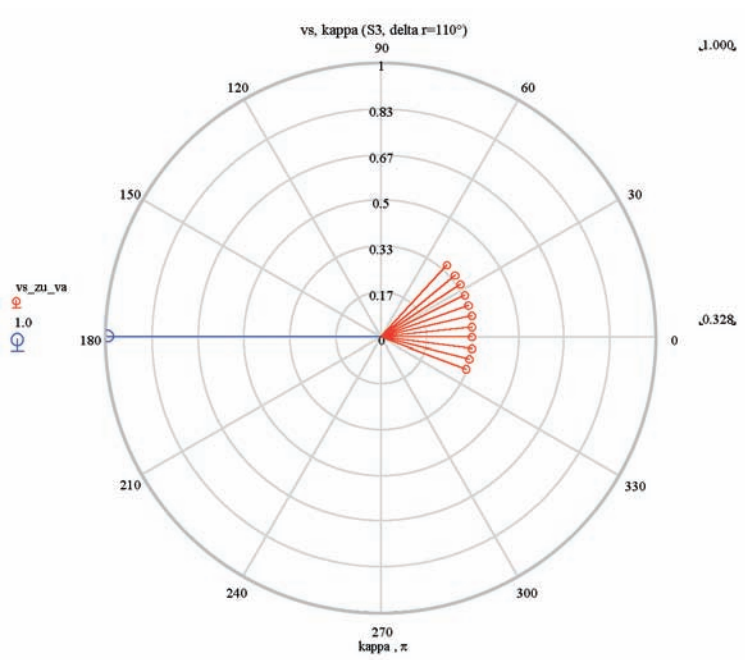
S1, beta=130°		
$\kappa / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	$\delta r / ^\circ$
-7,3	-0,8	-9,0
-0,6	-0,8	-11,6
6,0	-0,9	-12,9
12,5	-1,2	-14,6
19,1	-1,2	-16,5
25,9	-1,5	-16,9
33,0	-1,7	-18,0
39,9	-2,3	-18,1
47,4	-2,9	-19,2
55,2	-3,8	-19,1
64,1	-4,6	-20,7
73,7	-5,9	-21,0



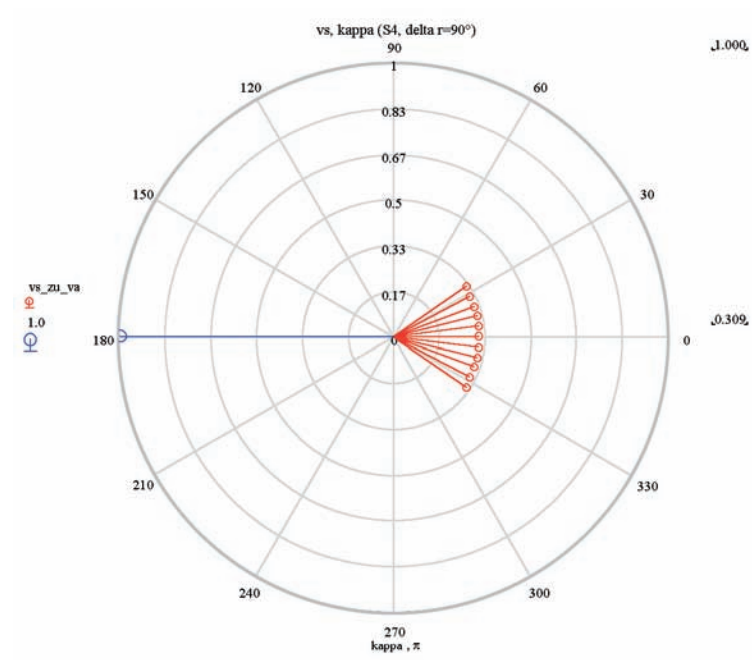
S2, beta=110°		
$\kappa / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	$\delta r / ^\circ$
-26,7	0,5	0,8
-19,9	0,0	0,4
-13,3	-0,3	-0,1
-6,9	-0,6	-0,9
-0,4	-0,7	-1,7
6,0	-0,8	-2,1
12,4	-0,9	-2,4
18,9	-1,2	-2,9
25,5	-1,4	-2,8
32,0	-1,9	-2,5
39,0	-2,6	-2,3



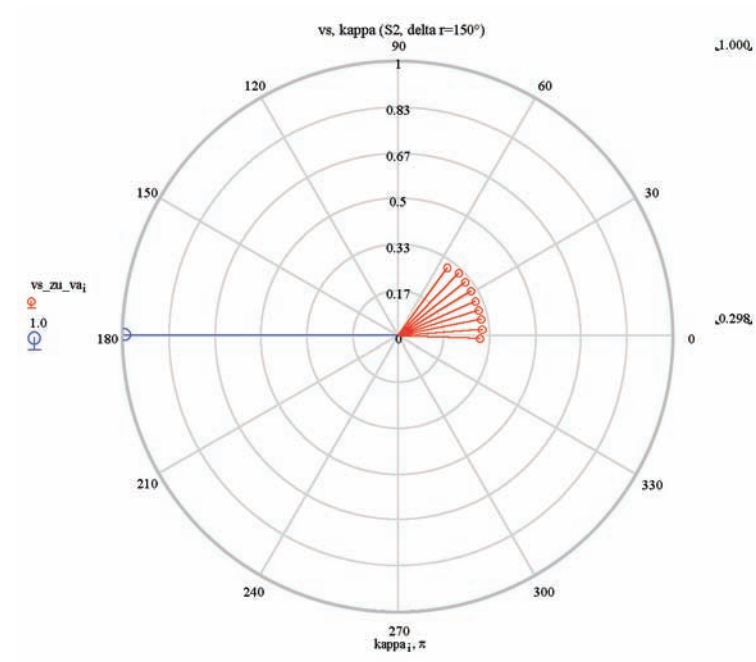
$\kappa / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	$\delta r / ^\circ$
-14,1	-0,8	-1,1
-7,5	-1,2	-2,1
-0,9	-1,4	-3,3
5,6	-1,6	-3,8
12,1	-1,8	-4,6
18,7	-2,2	-5,2
25,4	-2,6	-4,9
32,1	-3,0	-4,5
39,0	-3,7	-4,0
46,3	-4,6	-3,5
54,3	-5,9	-2,4



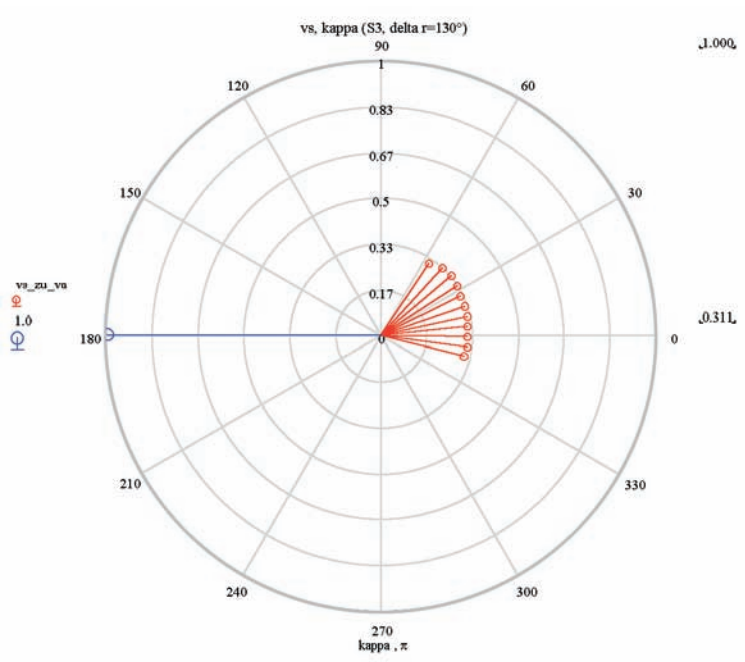
$\kappa / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	$\delta r / ^\circ$
-20,5	0,1	0,9
-13,8	-0,4	0,5
-7,2	-0,7	-0,4
-0,5	-0,8	-1,5
6,2	-0,8	-2,0
12,7	-1,0	-2,5
19,5	-1,2	-3,4
26,3	-1,5	-3,4
33,0	-2,1	-3,0
40,2	-2,8	-2,7
47,4	-3,6	-2,2



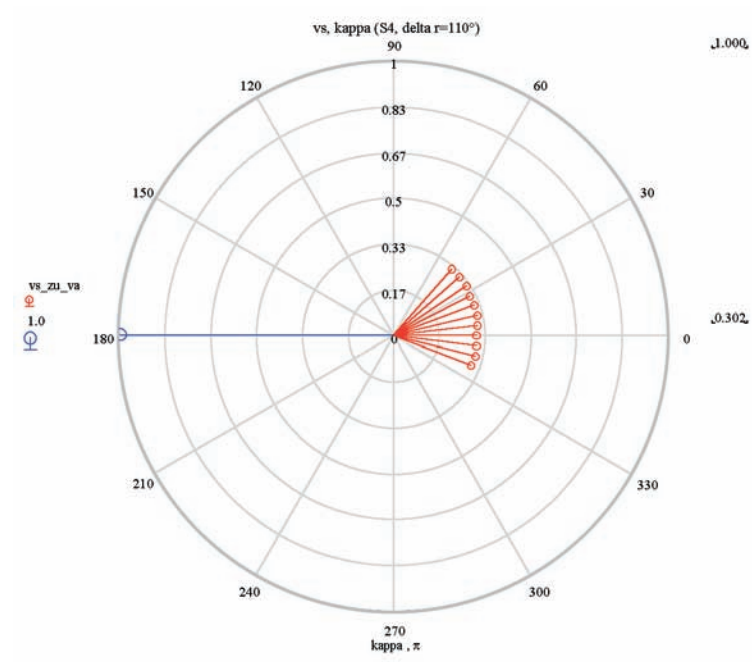
$\kappa / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	$\delta r / ^\circ$
-34,4	1,8	2,2
-27,5	1,2	2,6
-20,5	0,7	2,7
-13,5	0,4	1,7
-6,8	0,1	0,7
0,0	0,0	0,0
6,8	-0,1	-0,6
13,5	-0,4	-1,5
20,5	-0,6	-2,8
27,5	-1,1	-2,9
34,4	-1,6	-2,6



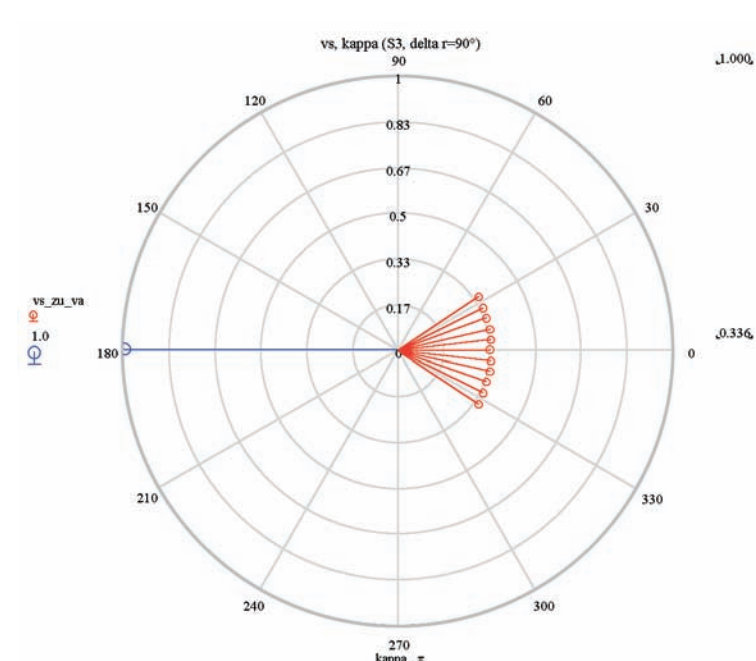
$\kappa / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	$\delta r / ^\circ$
-2,3	-3,3	-0,6
4,1	-4,0	-0,7
10,8	-4,5	-0,8
17,5	-5,1	-0,9
24,4	-5,6	-1,0
31,3	-6,2	-1,1
38,5	-7,0	-1,2
46,0	-7,8	-1,4
53,9	-9,4	-1,6
62,3	-11,3	-1,9
70,9	-13,2	-2,3
79,6	-16,8	-2,9



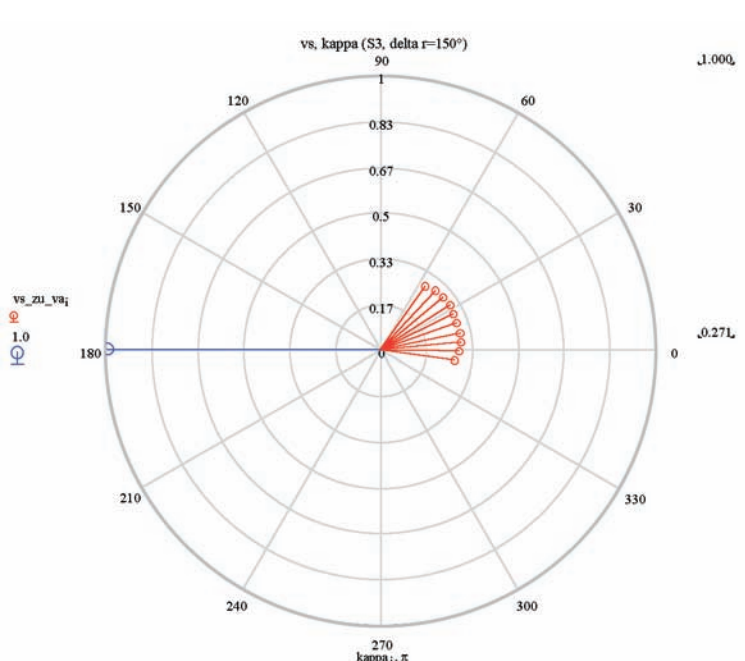
$\kappa / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	$\delta r / ^\circ$
-14,5	-0,8	-0,1
-7,7	-1,3	-1,9
-0,9	-1,4	-3,1
5,8	-1,5	-4,0
12,5	-1,7	-4,8
19,2	-2,1	-5,9
26,2	-2,5	-5,9
33,1	-3,0	-5,3
40,1	-3,7	-4,8
47,7	-4,8	-4,3
55,8	-6,8	-3,6



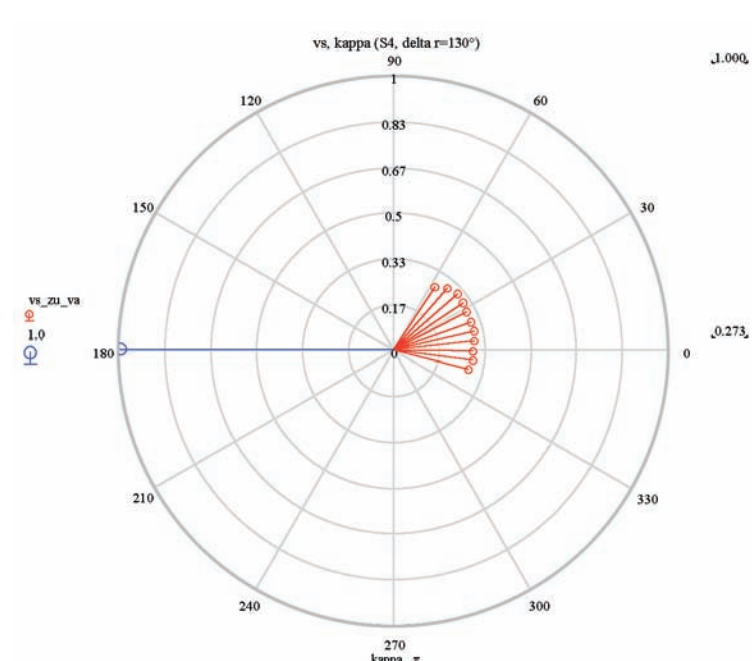
$\kappa / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	$\delta r / ^\circ$
-21,0	0,4	1,3
-14,1	-0,2	0,7
-7,4	-0,6	-0,3
-0,5	-0,7	-1,5
6,4	-0,7	-2,4
13,2	-1,0	-3,2
20,2	-1,2	-4,5
27,3	-1,6	-4,5
34,1	-2,2	-4,1
41,5	-3,1	-4,0
48,9	-4,1	-3,2



$\kappa / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	$\delta r / ^\circ$
-33,2	1,5	1,8
-26,5	1,0	2,0
-19,7	0,7	1,9
-13,0	0,4	1,3
-6,5	0,1	0,6
0,1	0,1	0,1
6,6	0,0	-0,3
13,1	-0,3	-0,9
19,8	-0,6	-1,8
26,6	-0,9	-1,8
33,4	-1,4	-1,5



$\kappa / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	$\delta r / ^\circ$
-8,4	-1,5	-0,4
-1,6	-2,2	-4,8
5,1	-2,8	-6,7
11,9	-3,2	-7,2
18,9	-3,5	-8,9
25,9	-4,2	-8,8
32,7	-5,2	-7,3
39,8	-6,3	-6,3
47,2	-7,8	-4,9
54,9	-9,8	-2,1
62,6	-12,5	0,9
70,2	-15,7	6,0
76,7	-21,2	15,8
84,0	-24,9	22,1
76,7	-47,4	29,3



$\kappa / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	$\delta r / ^\circ$
-14,7	-0,4	0,7
-7,7	-0,9	-1,7
-0,8	-1,2	-3,2
6,1	-1,4	-4,2
12,9	-1,6	-5,3
19,9	-2,1	-6,9
27,0	-2,5	-6,9
34,1	-3,1	-6,3
41,2	-4,1	-5,8
49,0	-5,5	-5,2
57,1	-7,8	-4,5

Stabilitätsberechnungen bestimmen die Seetüchtigkeit eines jeden Schiffes und umfassen die grundlegenden Überlegungen zur Schiffssicherheit, außerdem sind sie bei einem Segler Grundlage des Vortriebes. Im ausgehenden Mittelalter waren die theoretischen Kenntnisse zum Schiffbau begrenzt, man baute wahrscheinlich weder nach Modellen noch nach weitreichenden mathematischen Berechnungen. Die Herangehensweise an den Schiffbau dieser Zeit war empirisch; Versuch und Irrtum bestimmten die Praxis. Erste theoretische, konstruktive Überlegungen weisen wir mit dem in tudorschen Diensten stehen Schiffbaukonstrukteur Matthew Baker für das 16. Jahrhundert und die eigentliche Behandlung der Frage Stabilität erst mit dem Werk des Pierre Bouguer aus dem Beginn des 18. Jahrhunderts nach. So sind Krängungsversuche am fertiggestellten Schiffen nur sporadisch überliefert.

Wir wissen aus lübischen Unterlagen der Lastadie, dass der Schiffbauer nur für die Fertigstellung der Hülle verantwortlich zeichnete, das Aufstellen des Riggs aber der Verantwortung des Reeders oblag. Auch wenn dieses Abnahmeprocédere so ohne weiteres nicht auf den ganzen Hanseraum zu übertragen ist, scheint diese Überlieferung bezeichnend. Wir sehen daran, dass dem wesentlichen Zusammenhang von Segel- und Lateralschwerpunkt als Vortriebsfaktoren und bestimmende Voraussetzung für die Manövrierbarkeit eines Schiffes und deren Segelleistungen wenig Beachtung beigemessen wurde. Verfolgen wir die vereinzelt Überlieferungen zum Schiffsrecht aufmerksam, so kommen diese immer wieder auf das Wassernehmen des Schiffes durch die Aussenhaut.

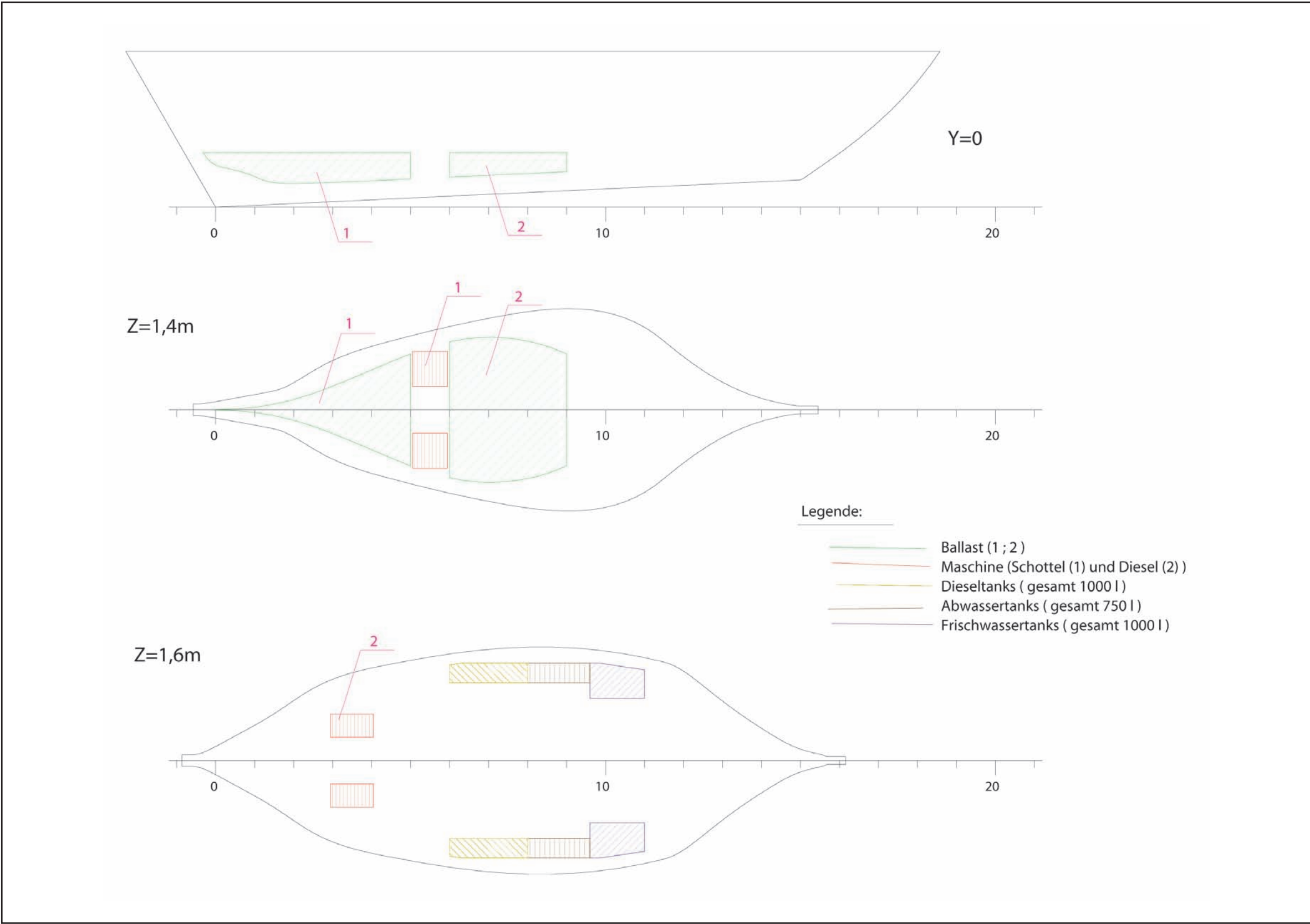


Abb. 60: Mit der Vorausnahme von Gewichten signifikanter Interiors wie Maschine und diversen Tanks in bestimmten Bereichen und Höhen im Schiff wurden die einzelnen Stabilitäten und Eintauchtiefen berechnet. Die drei Abbildungen zeigen Einbauten in 3 ausgewiesenen Deckshöhen – hier als Schnitte dargestellt.

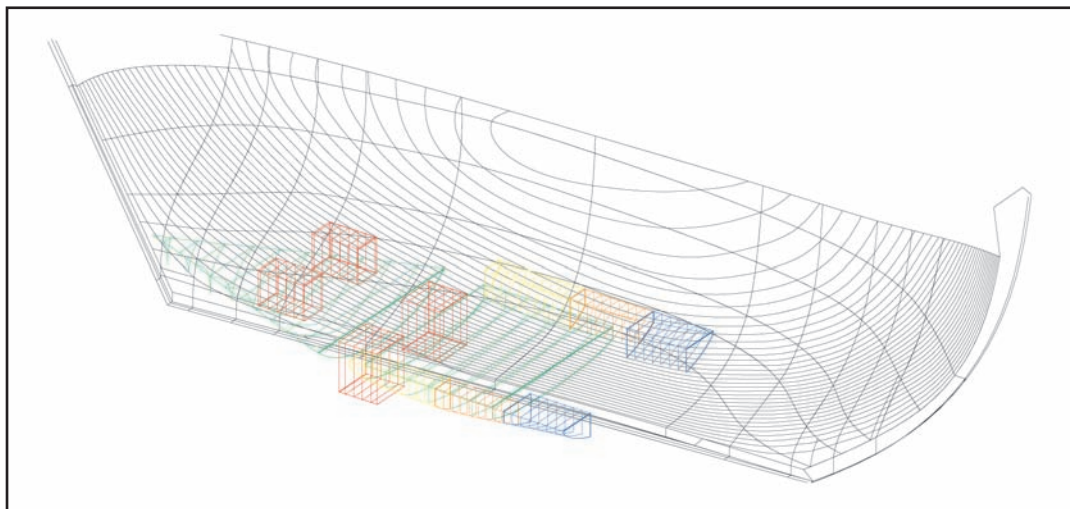


Abb. 61: Die einzelnen Einbauten in der 3D Simulation.

Die rechtliche Expertise stellt dann auf den Beladungszustand ab. Regelrechte Kenterungen und Stabilitätsprobleme scheinen nicht das Problem von Koggenfahrzeugen gewesen zu sein .

Trimm und Krängung als wesentliche Parameter für die Seefähigkeit eines Schiffes

Zum einen der Trimmfall, als das Gravitätszentrum AW (moment to change trim) gemessen vom hinteren Lot in vertikaler Längsrichtung der Kiellinie, der im wesentlichen das Stampfen und die Rudergängigkeit des Schiffes vor dem Wind beeinflusst. Zum anderen der Krängungspunkt, als der Ansatz des Hebelarmes von dem sich ein Schiff aus der horizontalen Neigung durch den Ausgleich des Gewichtsschwerpunktes und des Schwerpunktes des Auftriebes wieder aufrichten kann, welches im wesentlichen die Steifigkeit eines Schiffes und dessen Segelleistungen am Wind beeinflusst.

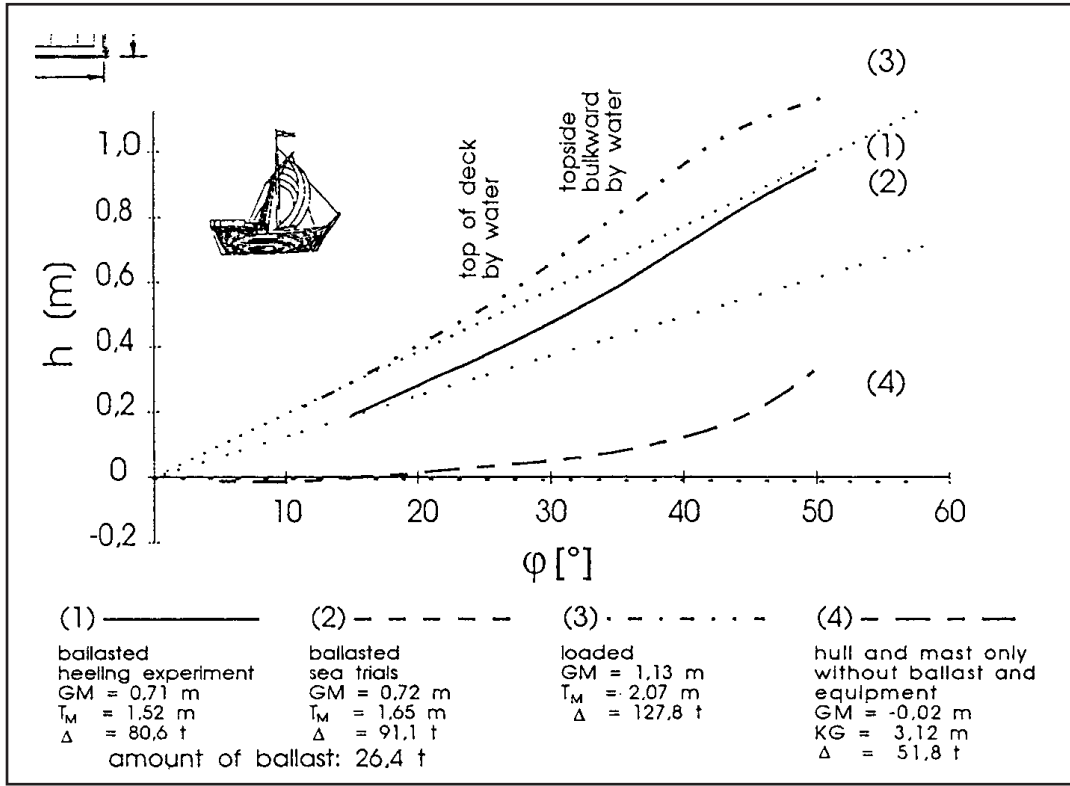


Abb. 62: Berechnungen zu vier Belastungszuständen im Rahmen der theoretischen Vorbetrachtungen beim Bau der KIELER HANSEKOGGE.

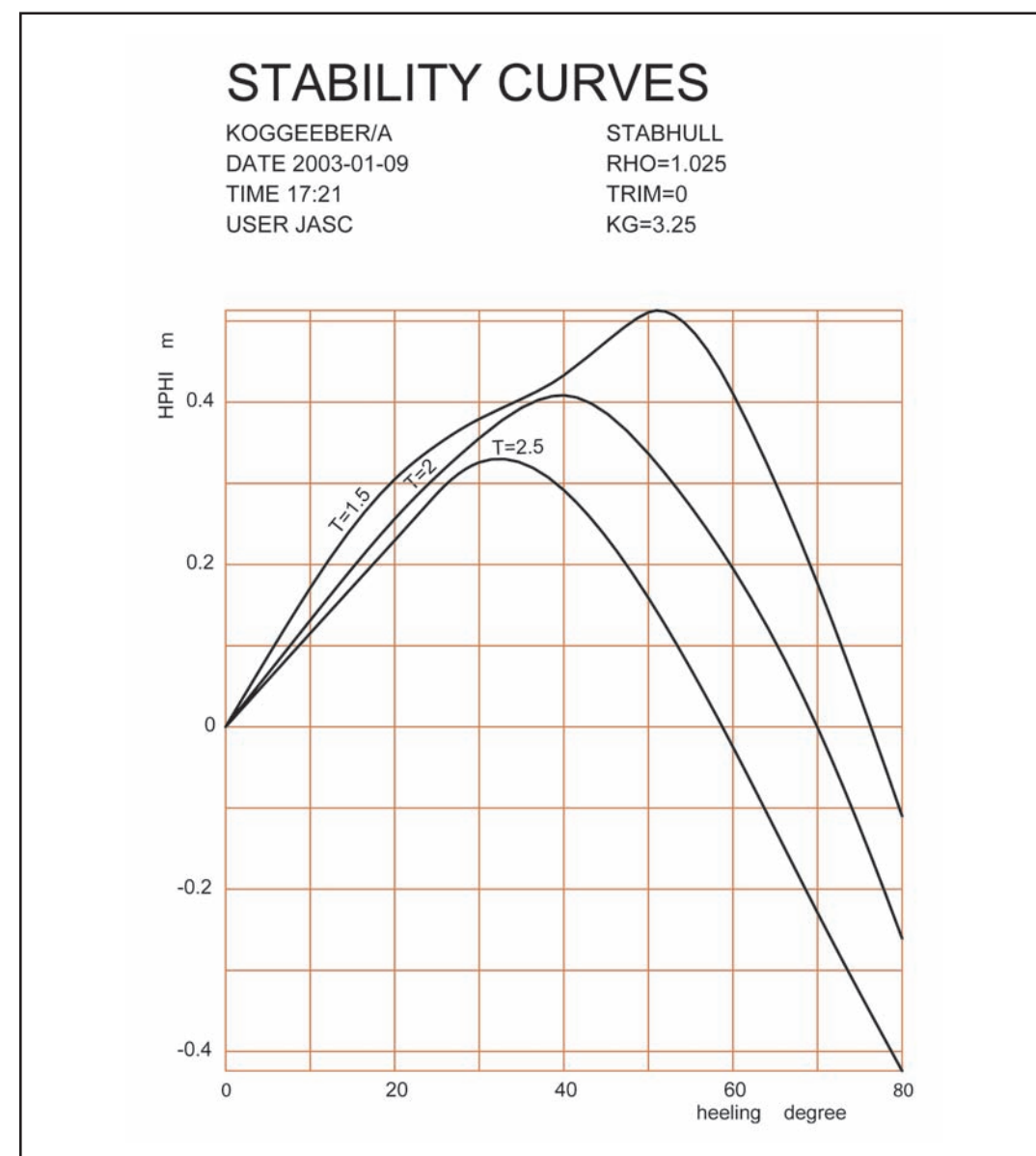


Abb. 63: Stabilitätskurve für Belastungszustand I.

Bei der UECKER-RANDOW-KOGGE wurden theoretische Glattwasserhebelarmkurven erstellt, die nach Krappinger „keine physikalische Erklärung des Kentervorganges liefern können, wohl aber auf statistischem Wege eine als ausreichend anzusehende Sicherheit geben“.

Die Kurven für die Hebelarme wurden für die in der Excel-Tabelle angegebenen Werte ermittelt. Einzige Ausnahme macht hierbei das Gewicht 1, das bei den Kurven angegeben ist. Die Einflüsse eintauchender Aufbauten wurden vernachlässigt. Es wurde ausschließlich der als absolut wasserdicht angenommene Schwimmkörper berücksichtigt. Die obere Grenze dieses Körpers stellt die Decksfläche dar, die für die Rechnung auf konstant 3,9 m (0,1 m unter W14) festgelegt ist.

bearbeitet von Thomas Guiard und Jan Schatschneider

Kapazitäten:

Ballast 1	4,2 t
Ballast 2	5,8 t
Dieseltanks	0,88 t
Abwassertanks	0,75 t
Frischwassertanks	1 t

Stabvoll:

Ballast 1	leer
Ballast 2	leer
Dieseltanks	voll
Abwassertanks	voll
Frischwassertanks	leer
Gewicht 1	48 t

Stableer:

Ballast 1	leer
Ballast 2	leer
Dieseltanks	leer
Abwassertanks	leer
Frischwassertanks	leer
Gewicht 1	48 t

Stabanzleer:

Ballast 1	voll
Ballast 2	voll
Dieseltanks	voll
Abwassertanks	voll
Frischwassertanks	voll
Gewicht 1	48 t

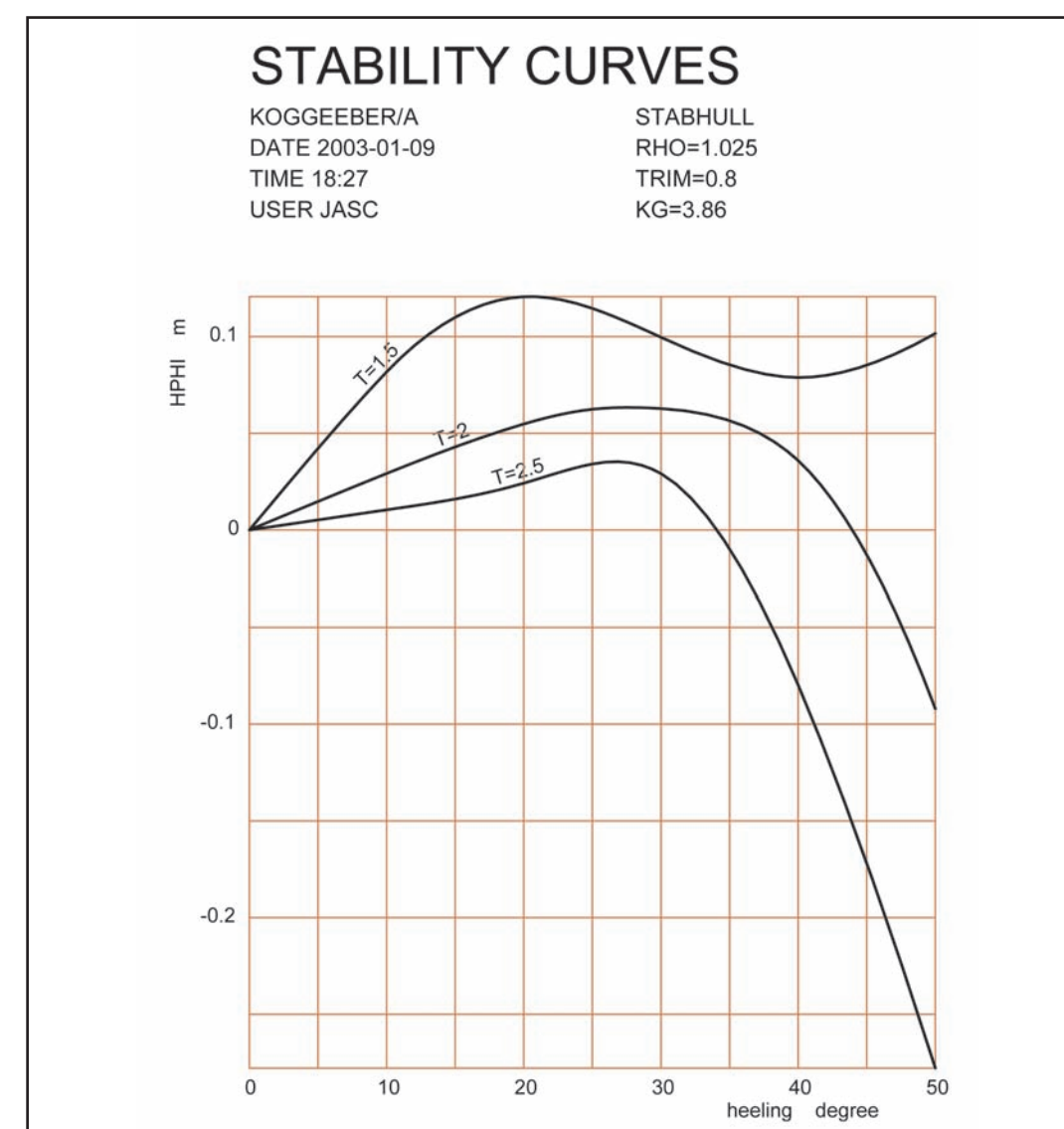


Abb. 64: Stabilitätskurve für den Belastungszustand II.

In allem ist es wichtig eine positive metazentrische Höhe zu errechnen, um bei der Auslieferung des Fahrzeuges ohne Ballast eine stabile Schwimmlage zu erreichen. Mit ausgewiesener metazentrischer Höhe ist dies im vorliegenden Fall ausreichend gegeben (s. Abb. 66).

Die Stabilität wäre dann nicht mehr gegeben, wenn man den Mast schon auf der Helling setzen würde. Ein Zuwasserbringen mit Mast könnte zu Stabilitätsproblemen ohne Ballast geführt haben. Dies war aber technisch kaum möglich und hat in unserem Zusammenhang keine Bedeutung. Segelversuche an der Versuchsanstalt Berlin zum Segelverhalten der KIELER HANSE-KOGGE, als authentischem und experimentell untersuchtem Nachbau des Bremer Schiffsfundes, bewiesen schnell die begrenzten Segeleigenschaften des Schiffes.

Wenn dieses Schiff auch bis zu 15 Grad gekrängt werden kann und damit durch seine Breite im Verhältnis zu seinem hohen Freibord stabil ist, bewirkt der recht hohe Lateralschwerpunkt die verstärkte Abdrift des Schiffes bei am Wind Kursen von bis zu 10 Grad.

Das Schiff kommt somit nicht dichter an den Wind als 85°. Es zeigt sich schnell, dass die Bremer Kogge, auch getragen durch die Überlegungen zum Fahrtrevier, ein Schiff war, welches mit Vor-dem-Wind-Kursen sein Ziel auch in flachen, von der Küste nachgeordneten Häfen erreichte.

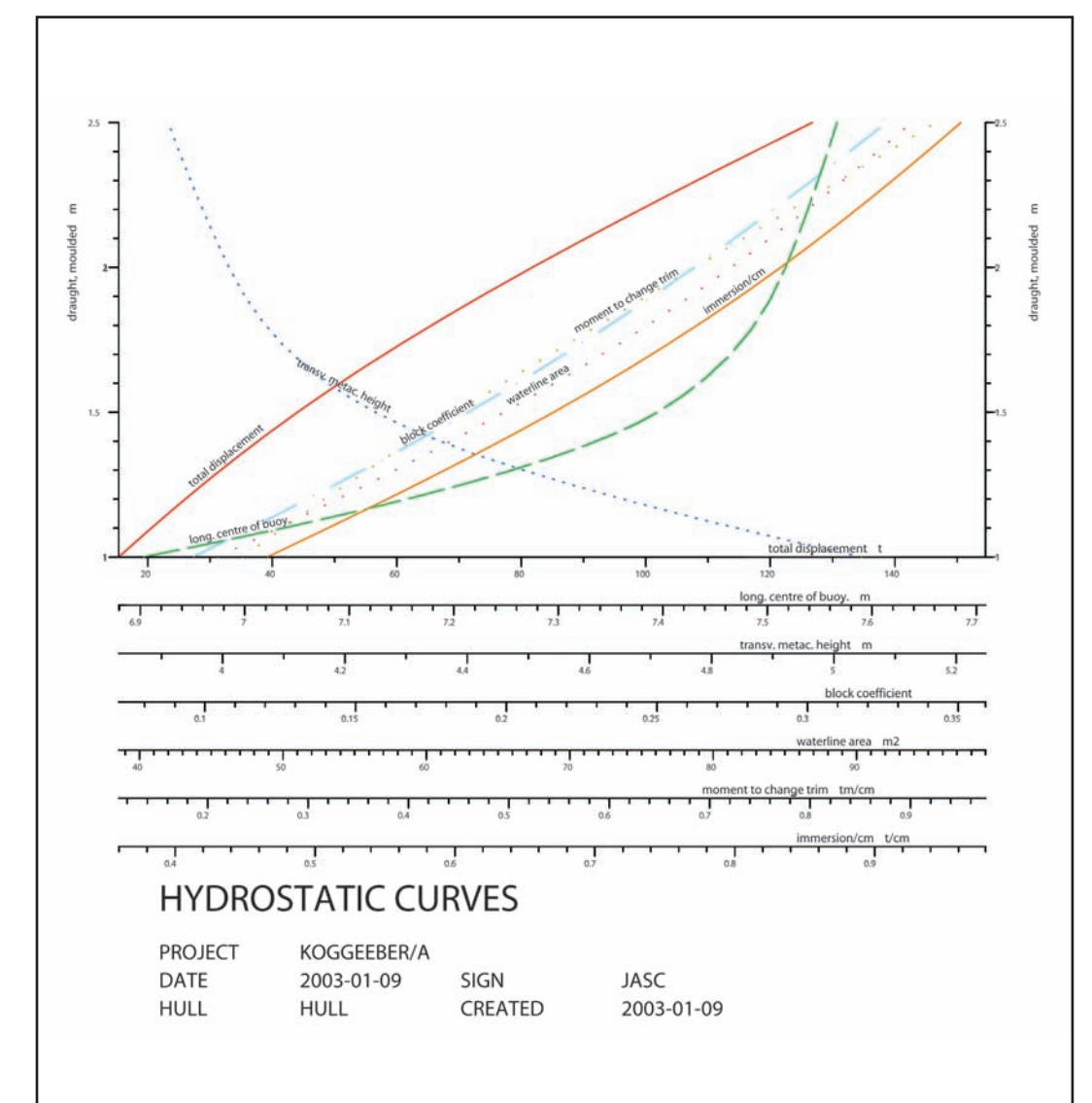


Abb. 65: Stabilitätskurve für den Belastungszustand III.

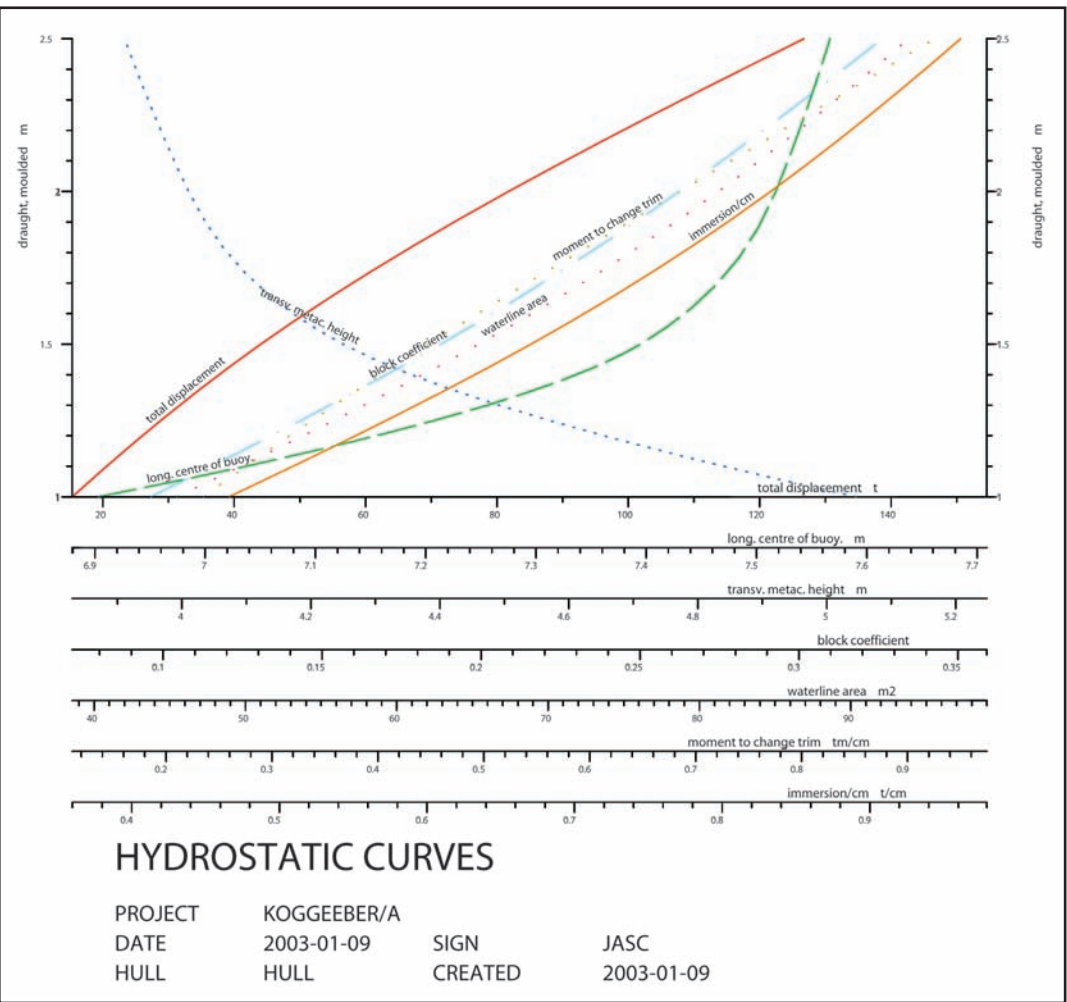


Abb. 66: Die hydrostatischen Kurven lassen Grenzwertbetrachtungen zur Seefähigkeit der UECKER-RANDOW-KOGGE zu.

Durch die geringen Tauchtiefen war es diesen Schiffen möglich, bis zu den Entladestellen in die Stadthäfen vorzudringen und in den seichten Haff- und Boddengewässern zu operieren. Dieser Vorteil ging auf Kosten der Segelleistung und der Manövrierbarkeit vor dem Wind. Insbesondere Koggenfunde aus dem Ostseeraum, herausgestellt sei hier die besondere Bauchigkeit des Poeler Schiffsfundes, manifestieren diese Entwicklung eindrucksvoll. Hier hat man in Hinsicht der Lastigkeit und des Tiefganges ein ausserordentlich fülliges Schiff gebaut, ohne der Form und darüberhinaus den Segeleigenschaften eine besondere Bedeutung beizumessen. Interessant sind in diesem Zusammenhang der Vergleich der metazentrischen Höhen von zwei Schiffen der gleichen Grössenverhältnisse. Einmal die Koggenform, zum anderen eine moderne. Hier zeigt sich bei Beladung bis zum grössten Tiefgang, dass die Kogge durch ihre spezielle Form im Hauptspantbereich nicht so schnell an metazentrischer Höhe verliert wie die neue Form. Trotzdem ist immer darauf hinzuweisen, dass bei Bemastung und ohne Ballast das Schiff eine negative metazentrische Höhe aufweist und demzufolge instabil ist. Die Frage der Beladung stand somit in besonderer Erfahrung des Schiffers vor dem Beladungszustand und hat eine besondere Verplanung vorausgesetzt. Desweiteren wurde das Verhalten von Rollwinkeln durch den Eintrag von Leckwasser und das Eigenschwingungsverhalten in Kiel untersucht. Das Rollen vor dem Wind hat man als wenig gefährdend bei normaler Lage am Wind eingeschätzt.

Segelt das Schiff bei Raumwinden, können Erregerfrequenzen durch die Differenz der Geschwindigkeit die Kogge und der Wellenfortschrittgeschwindigkeit eintreten und die Kogge in der Steuerbarkeit einschränken, auch Kopplung mit dem Stampfen ist möglich. Das sogenannte Rollen ist für koggenartige Schiffsförmlichkeiten tatsächlich eine Gefahr, erhöhte Lateralität der UECKER-RANDOW-KOGGE im Vergleich zu Nachbauten die sich aus dem Bremer Schiffsfund ableiten, dürften das Problem minimieren. Für die Berechnungen des Ballastes bietet uns der Koggenfund von Vejby mit einem prospektierten Ballast von 26 Tonnen Feldsteinen, die um den mittigen Mastfuß lagerten, Vergleichsmomente.

Jede Tonne Deckslast wurde mit einer Tonne Ballast kompensiert. Die Deckslast verringert die metazentrische Höhe umgehend, deshalb segelten die Koggen auch mit offenem Deck wo das Wasser schnell abfliessen konnte und sich somit schnell das Stabilitätsmoment wieder einstellte. So hat man bis ins ausgehende 18. Jahrhundert nach Gewichtsstabilität gebaut, indem so lange Ballast gebunkert wurde, bis man das Schiff für ausreichend stabil ansah, teilweise unternahm man, w.w.o. bemerkt, auch Krängungsversuche. Das Verhältnis des Gewichtsschwerpunktes und des Schwerpunktes des verdrängten Wassers und deren Bestreben, sich in vertikaler Ebene bei Krängung auszugleichen, ist wie besagt mathematische Grundlage des Krängungsmomentes. Allgemein liegt der Gewichtsschwerpunkt unterhalb des Schwerpunktes des verdrängten Wassers. Erstgenannter steht fest und ist nicht veränderbar. Letztgenannter allerdings kann sich durch die Veränderung der Form des Schiffes sogar dergestalt verändern, dass er sich unterhalb des Gewichtsschwerpunktes befindet. Modellversuche während des Baus der Kieler Kogge haben ergeben, dass bei der rechnerischen Auswertung der Versuche die Neigungswinkel etwas zu hoch errechnet werden und diese dann eine höhere Anfangsstabilität verlangt. Die Erfassung der Mindeststabilität im Modellversuch ist damit eminent. Folgende Werte sind bei Sturtz erfasst:

1. Anfangsstabilität und Rollperiode
2. Geschwindigkeit und Geschwindigkeitsverlauf
3. Bahnverlauf und Drehkreisdurchmesser
4. Verlauf der Krängung im Drehkreis

Ein Aspekt, der die Fahreigenschaften besonders beeinflusst, ist der Widerstand der Klinkerung; auch der Widerstand der Nägel ist nicht zu negieren, liegt dieser doch bei etwa 17% des Gesamtwiderstandes und beeinflusst die Fahrgeschwindigkeit nachhaltig. Der Widerstand infolge Verwirbelung der Strömung hinter dem

Schiff und an den Plankenkanten und der aus der Wellenbrechung (Schnauzbart) ableitbare liegt mit Ballast von 30t bei fast 50% des reinen Reibungswiderstandes, bei der Fassladung sind es 116%, also eine erhebliche Grösse.

Geschwindigkeit der Kogge	Wellenwiderstand
3,5	0
5,5	32
7,5	135
9,5	370 Newton

So müssen die Kräfteachsen auf einer Linie liegen. Mastorientierte Rumpfmessungen ergaben bei einer Querkraft 0 das das Schiff geradeaus segelt. Eine Vorlastigkeit verringert die Ruderwirkung. Allgemein zeigen die Versuche, dass die Kogge ein vor dem Wind segelndes Hanseschiff war, welches eine besondere Gewichtsstabilität voraussetzte, aber insbesondere bei der kurzen Welle der Ostsee schnell für verbesserungswürdig betrachtet werden musste. So gab es quasi historische Beweggründe, wikingerzeitliche Bauelemente, insbesondere die durch den geklinkerten Schiffsboden verbesserte Lateralität bei Koggenfahrzeugen, zu übernehmen. Diese Übernahme beim Bau der UECKER-RANDOW-KOGGE findet somit durch den Vergleich der Untersuchungsergebnisse die nachfolgend dargestellt werden auch ihre wissenschaftliche Untermauerung. Mögliche Segelleistungen der Kieler Kogge:

Lübeck - Danzig:	3 Tage
Lübeck - Tallinn:	5-6 Tage
Lübeck - Memel:	3-4 Tage
Lübeck - Kopenhagen:	1,5 Tage
Lübeck - Bergen:	5-6 Tage
Lübeck - Visby:	3,25 Tage

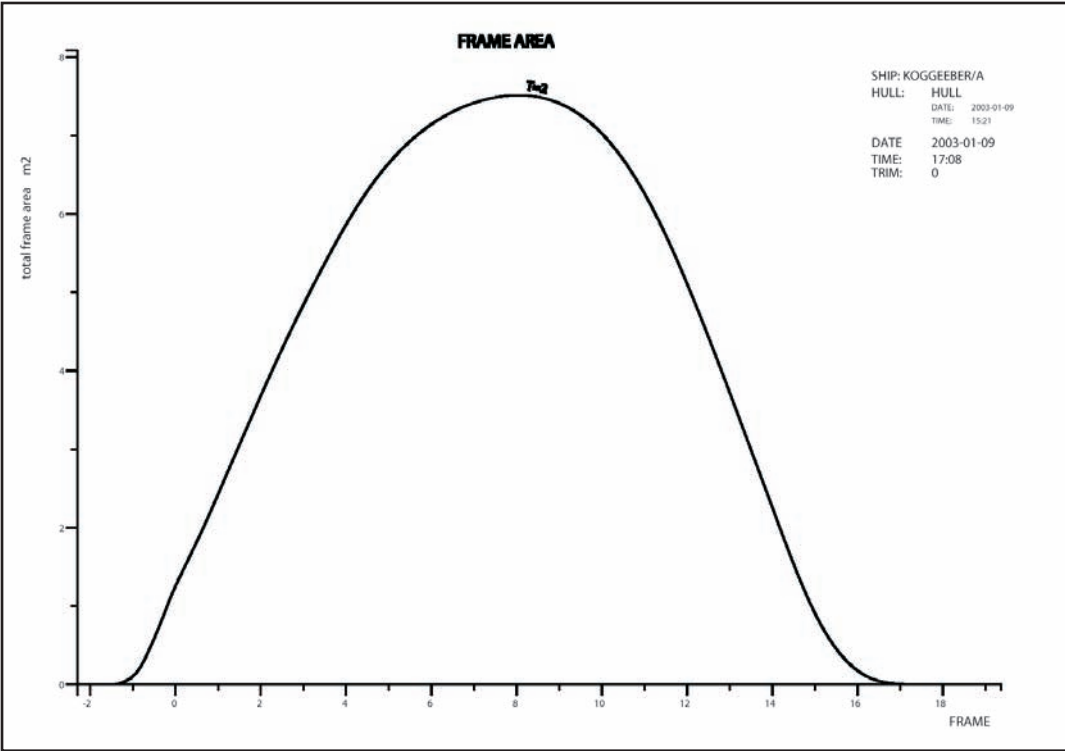


Abb. 68: Im wesentlichen ist die oben abgebildete Unterwasserlateralfläche der physikalische Gegenpol zu den einzelnen Beladungszuständen und damit der Eintauchtiefen.

Der Schiffsriss in seinen drei Darstellungsformen ist die Konstruktionsvorlage beim Bau der Modelle und des Schiffes. Er ist als Ausdruck und als Autocatfile Bestandteil dieses Berichtes. Der Schiffsriss kann je nach Bedarf in unterschiedlichen Maßstäben vervielfältigt werden, auch eine 1:1 Ausgabe mit einem entsprechenden Plotter ist möglich.

Der Spantenriss ist auf den Schnürboden im Maßstab 1:10 zu übertragen. Der Riss ist auf Außenkante Außenhaut projiziert. Die Baumallen werden nicht ausgeklinkert. Auf gerade Ausrichtung der Mallen ist zu achten, dabei muss der Kielfall Berücksichtigung finden. Die Mallen stehen damit auf dem Kiel nicht senkrecht. Eine obere Führung erhalten die Mallen durch die Anbringung des Eselshauptes. Auf eine definierte, unverrückbare Befestigung der Mallen ist zu achten. Dem Bau der Modelle folgend, strakt der Riss. Die Pallhöhe soll mindestens 1m betragen da ansonsten die Arbeitshöhe, vor allem beim Anbringen des Kielganges, unzureichend ist.



Dem Bremer Schiffsfund zufolge wählten die Koggenbauer in Bremen als Kiellage einen langen Stamm als Mittelstück und je zwei Astgabeln als Vorder- und Hinterteil. Der Bremer Kiel ist nicht wie bei der UECKER-RANDOW-KOGGE als Balkenkiel, sondern als Kielsohle mit der Säge zugeschnitten und mit dem Beil sowie dem Dechsel ausgearbeitet. Neuere archäologische Funde, so bei der Poeler Kogge, und auch die hier zur Grundlage der Konstruktion erhobene Ebersdorfer Modellvorgabe weisen einen Balkenkiel aus.

Die Lannung der beiden Kielstücke erfolgt mindestens 2-3 Spantenlängen vom mittschiffigen Mastfuß entfernt, wobei die Länge der Lannung das 4-5 fache der Kielhöhe aufweisen muss. Der Kiel ist dreigeteilt und an jeder Lasche mit 4 Edelstahlbolzen von 20 mm Stärke zu verbinden. Beim Bremer Fund sind die Kielsohle und die Bodenwrangen mit Holzdübeln verbunden. Im vorliegenden Fall erfolgt bei einer Kielhöhe von 30cm und Kielbreite von 50cm und einer Lannungslänge von 1,20 – 1,50cm eine Verbolzung mit 6 Bolzen aus Chrom- Nickel-Stahl in einer Stärke von 20 mm.

Die Anzahl der Laschbolzen richtet sich generell nach der Länge der Lannung

1,3 – 1,5	6 Bolzen
1,5 – 1,7	7
1,7 – 1,9	8
1,9 – 2,1	9

Es ist darauf zu achten, dass die Kielschweinbolzen nicht in die Lippen der Lannung, sondern mindestens 10 cm davon entfernt eingehen.

Der trapezförmige Querschnitt des im Mittelbereich stärker ausgearbeiteten Kielstückes verjüngt sich auf ca. 35 cm und geht

rechteckig in das Kniestück ein. Der ausgearbeitete Absatz erleichtert den Übergang zum Kielknie.

Dieser ermöglicht dann den Einlass einer Sponung. Eine Kalfatfase ist im Mittschiffsbereich bei genauer Passung nicht zwingend erforderlich.

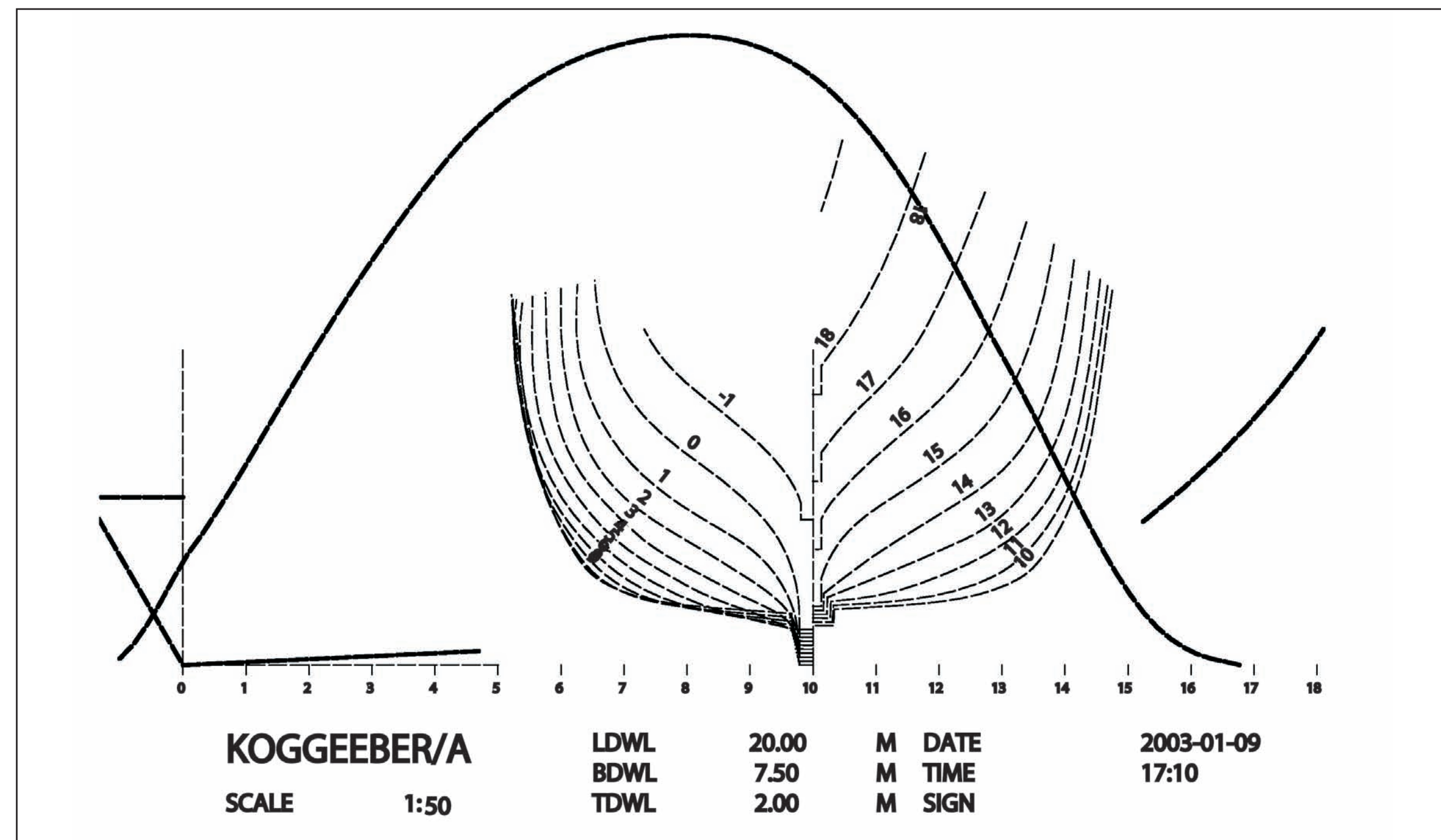


Abb. 64: Der Spantenriß und die daraus ermittelte Lateralfäche sowie die Gesamtlänge des Schiffes mit angedeuteten Kielfall machen die Gesamtdimensionen der UECKER-RANDOW-KOGGE deutlich.

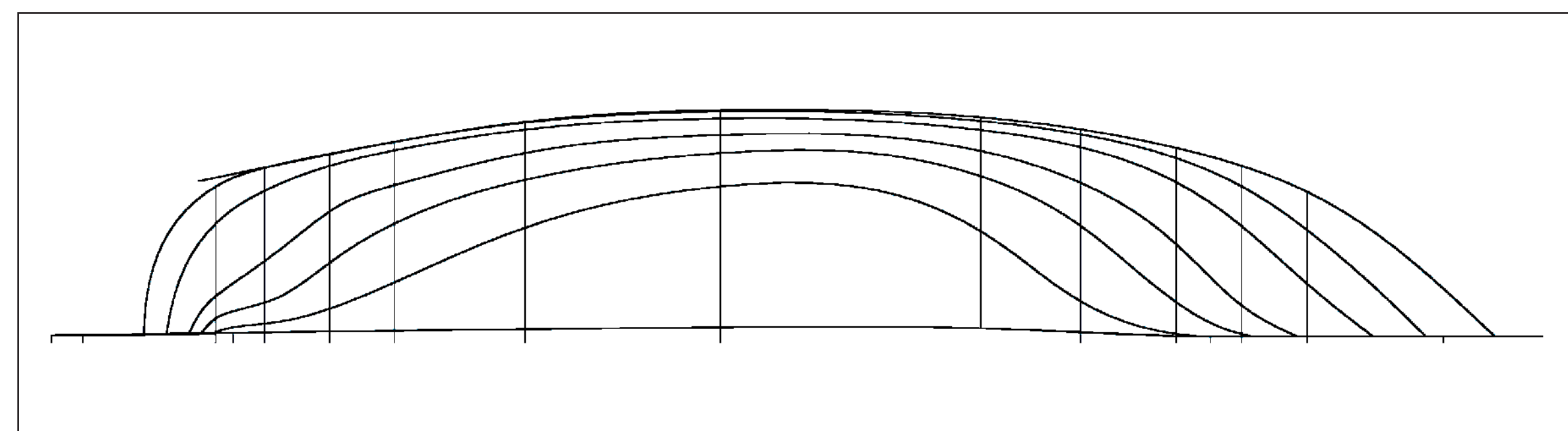


Abb. 65: Der Linienriß der UECKER-RANDOW-KOGGE macht deutlich, dass dieser Nachbau im Unterwasserschiff schärfer als die bisherigen Koggennachbauten gefertigt wird.

1 Die schiffbauliche Expertise von Lahn zum Bremer Schiffsfund ist Bestandteil dieser baulichen Beschreibung (Lahn, a.a.O. Baubeschreibung und Anlage. Förster, T., a.a.O., 2002, S. 238ff. Steuoffs, W., a.a.O., S.194. GL S. 27, Par. 1 Abs. 2, s.d.a. Steinhaus, C.F., Die Schiffbaukunst in ihrem ganzen Umfange, Hamburg 1858, S. 74. GL S. 27, Par. 1, Abs. 3



Abb. 66: Eine der signifikanten formalen Details der Kogge wird der gebogene Vordersteven, welcher in seiner Rundung adäquat dem Ebersdorfer Modell folgt.

Die Steven

Die Stevenkonstruktionen bestehen im Vorderschiffsbereich Innen und Außensteven, die bei dem Ebersdorfer Modell und auf der Abbildung des Dreikönigsaltars konvex geführt werden und so dem wikinger- und slawischzeitlichen Formen folgen und dem gerade im Winkel von 117° zum Kiel aufgerichteten inneren und äusseren Hintersteven. Innerer und äußerer Vordersteven werden gemeinsam gearbeitet, zum Aufplanken ist nur der mit dem Kiel verbundene Innensteven und der innere Hintersteven notwendig. Grundsätzlich ist es von Vorteil, die Steven möglichst nicht zu schäften; ist dies aufgrund der entsprechenden Holzwerbung und der Bucht des Stevens nicht möglich, so müssen die Lannungen von Innen- und Außenhölzern mindestens 1 m Versatz aufweisen, auch ist von der Lannung im weit oberen Bereich wegen der Bewegung des Bugsprits genauso abzuraten, wie sie Lannung direkt in Höhe KWL auszuführen².

Die Lannungslänge entspricht der 3-4 fachen Breite des Holzes. Lannungen sind Schwachstellen des Holzes, vor zu langen Überblattungen ist gleichfalls abzuraten, sie vermindern die Stabilität insbesondere mit gewachsenem Holz gebauter Schiffe. Wegen der Bucht der Vordersteven ist Krummholz zu verwenden.

Die Steven dürfen sich im Kielbereich verjüngen, doch die Dicke des festen Holzes zwischen der Sponung darf nicht weniger als die doppelte Plankenstärke betragen. Nach der Modellvorgabe ist die Neigung der einlaufenden Planken auszugleichen. Dies trifft insbesondere bei der Formgebung des vorderen Innenstevens zu, der bis zur Vorderkante desselben beplankt wird. Dem slawischen Bootsbau nach folgt somit der Abschluss der Beplankung der konvex geführten Form des Stevens, überdeckt aber den Innensteven dann völlig. Der Abschluss der Planken wird nicht, wie beim Nachbau der Poeler Kogge ersichtlich, „sägezahnförmig“ am Stevenansatz ausgearbeitet, sondern erfolgt bündig an der Aussenkante des inneren Vorderstevens.

Er ragt wie der vordere Innensteven in das Vorderkastell hinein, sein Abschluss ergibt sich aus der Konzeption des laufenden und stehenden Gutes, insbesondere aus der Höhe der Holeyunkte der Bullings.

Der hintere Aussensteven sitzt auf den Kielvorsprung auf, ähnlich einer Ruderhacke, und ist durch Verbolzung an den Innensteven in einem Abstand von ca. 130 cm und am Kielknie mit mindestens 6 Bolzen der Stärke 20 mm in Chrom-Nickel-Stahl zu verbolzen.

Der innere Achtersteven blattet von innen an das hintere Kielknie und wird zweifach verdübelt. Beim Bremer Fund betrug die Stärke 32 mm. Er nimmt die Planken auf und ist deshalb mit einer Sponung versehen. Der äussere Achtersteven geht von außen gegen und ist äquivalent wie der äussere Vordersteven verbolzt. Er trägt im Prinzip die vier Ruderbeschläge. Der erste Ruderbeschlag sitzt am oberen Ende des hinteren Kielknies, vielmehr an dessen Spitze. Die anderen schliessen in einem Abstand von ca. 140 cm an.

Es ist darauf zu achten, dass die Verbolzung des inneren und äusseren Achterstevens nicht am Ort der Ruderbeschläge ausgeführt wird. Die Länge des Vorderstevens richtet sich nach dem Abschluss des Vorderkastells. Der innere Hintersteven schliesst mit dem Heckbalken ab; der äußere erhebt sich als Aufsatz des Ruders in einer Länge von 1,20 m.

Beim Aufrichten des Stevens ist es sinnvoll, den Schwerpunkt auf dem Schnürboden abzuschneiden.

Die Beplankung

Mittelalterliche Fahrzeuge Nordeuropas sind in Schalenbauweise gefertigt. Die Innenhölzer wurden nach der Beplankung eingerichtet. Stehen die Mallen, so ist an diesen mit Straklatten die Beplankungsordnung auszustraken. Der Mallenbau folgt den Erfahrungen bei der Fertigung derselben während des Nachbaus der Kieler Kogge.

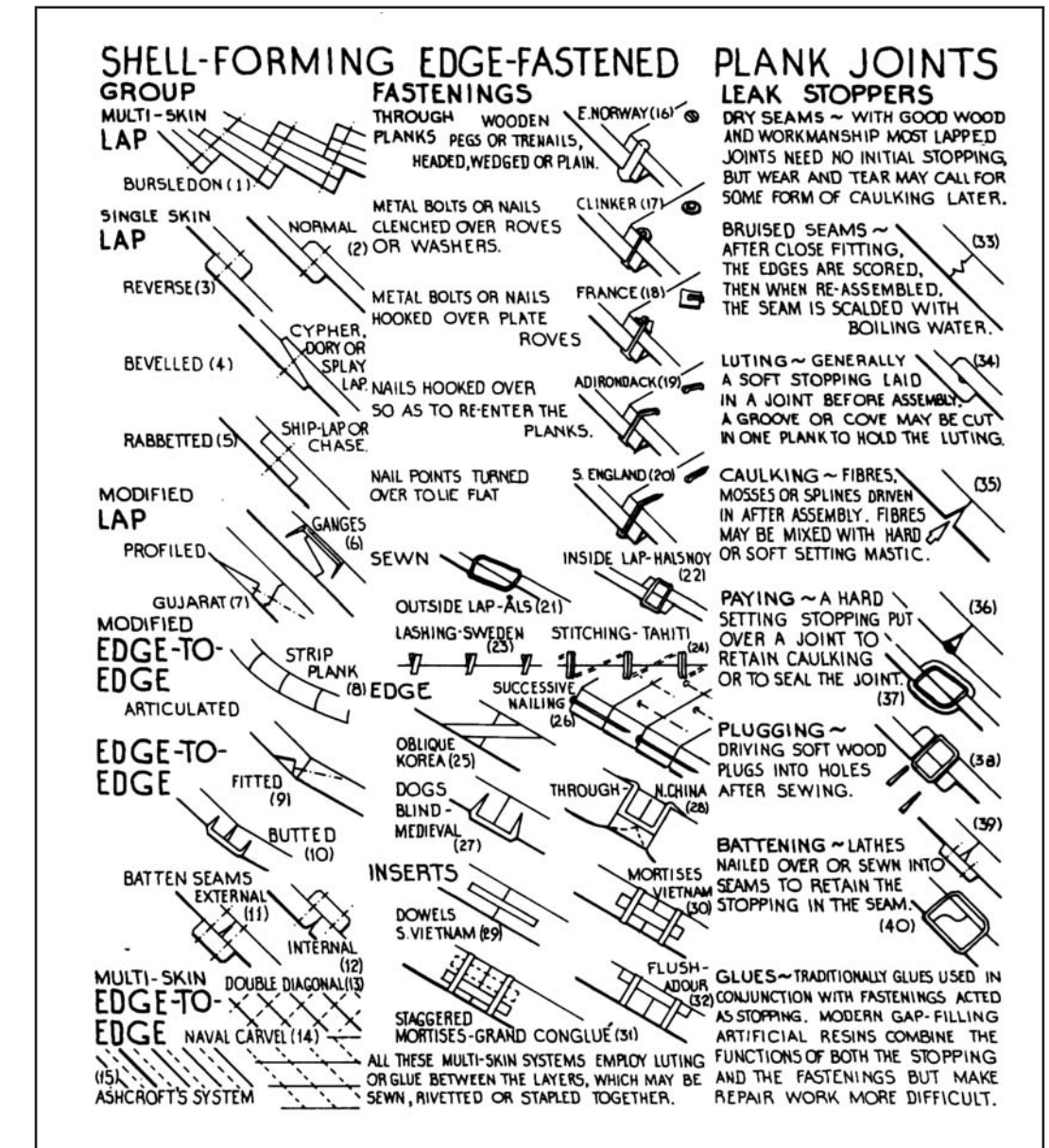


Abb. 67: Oft sind es nur ganz schwer am Wrackrest auszumachende Details welches auf regional unterschiedliche Bauweisen schliessen lässt - so wie es z.B. bei der Verbindungslösung der Planken beispielhaft wird.

Die Mallen sind aus 65 mm Fichtenholz gefertigt und mit 15 mm Sperrholz gelascht und verleimt. Als Verstrebung werden eine Mittelstrebe und 4 waagerechte Querholme in Höhe der 4 Wasserlinien eingefügt.

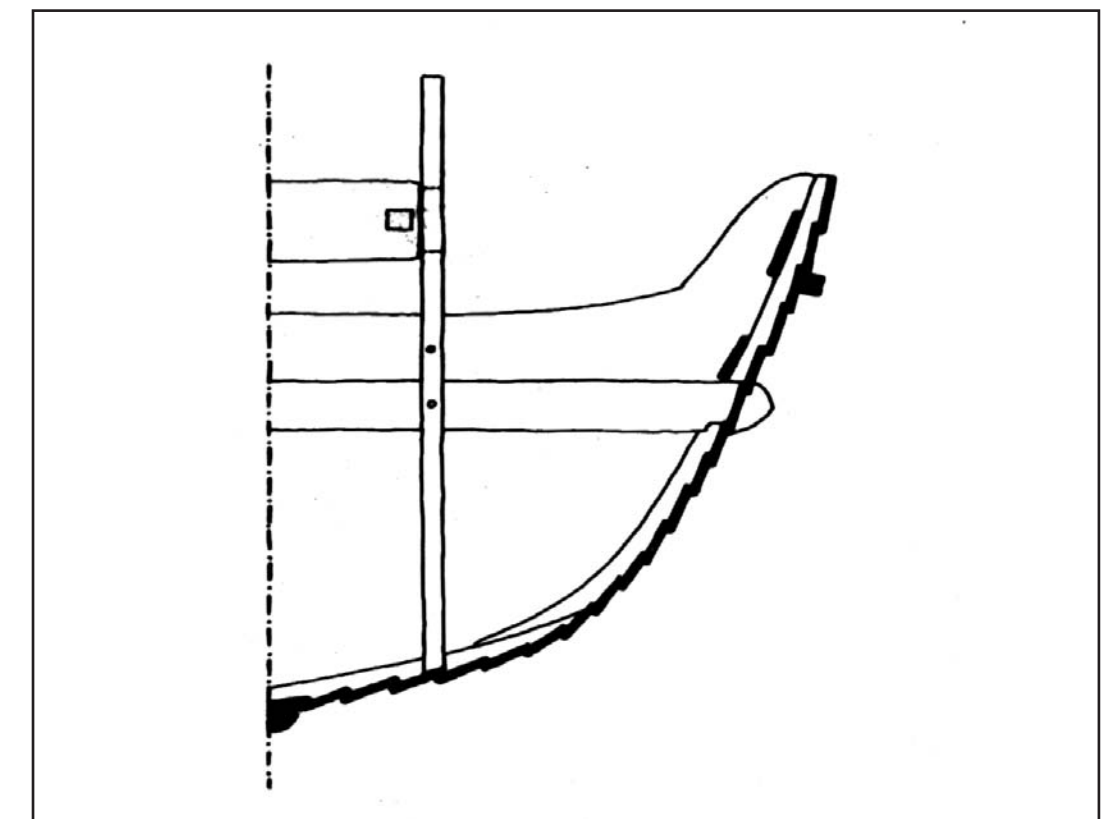


Abb. 68: Wrackreste wie das von Gedesby zeigen mit ihrem durchgeklünnelten Boden Unterschiede zur Nordseebauweise der Koggen auf. Eine Vermischung von Nord- und Ostseebautradition ist wahrscheinlich.

² Korth, Die Schiffbaukunst, Teil 1, Berlin 1826, S. 11, Steinhaus, a. a. O. S. 76 ff. GL, S. 27, Par 2, Abs. 3. GL S. 28 P. 2, Abs. 6

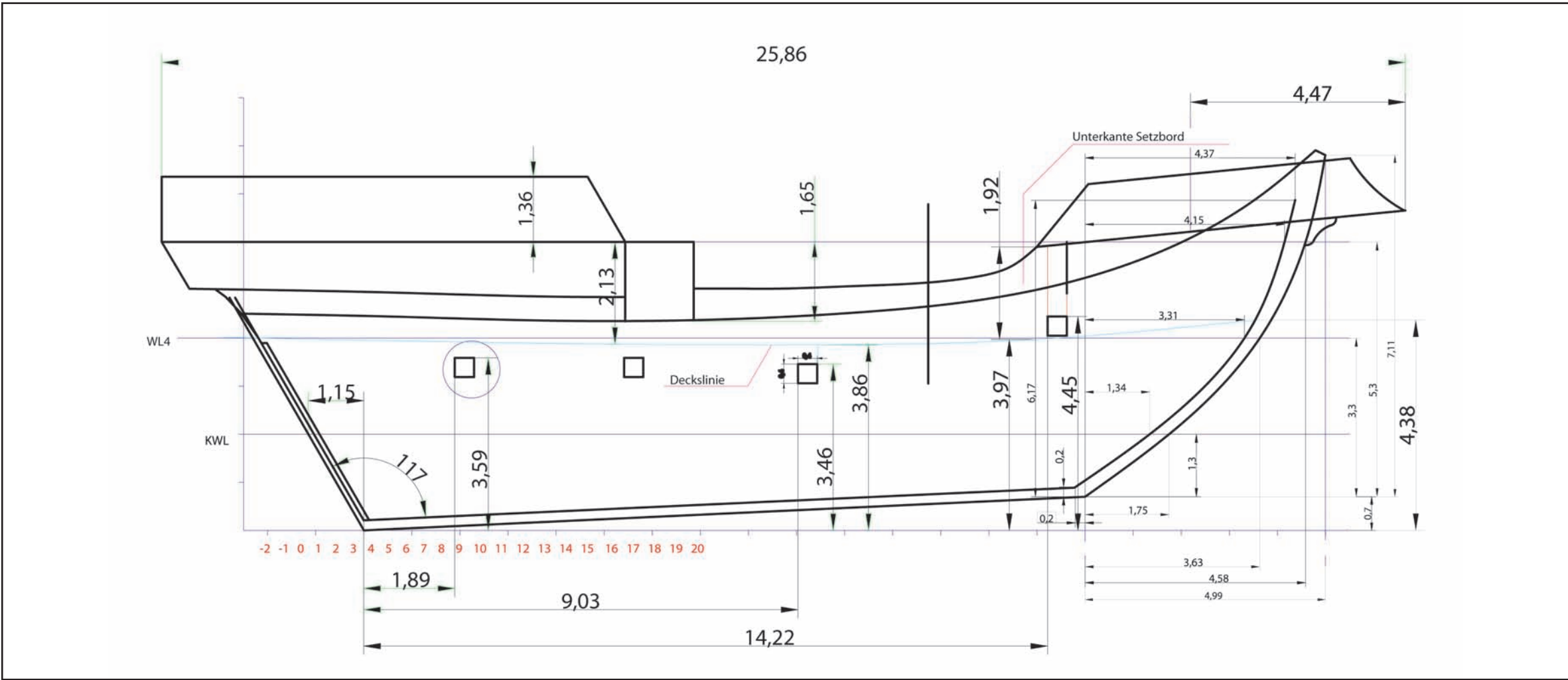


Abb. 69: Die einzelnen Bemaßungen der Uecker-Rando-Kogge. Als einer der wenigen Nachbauten bekommt dieses Schiff ein Vorderkastell, welches der Abbildung auf dem w.o. erwähnten Dreikönigsaltar folgt.

Auf die Querholmen werden die Laufplanken befestigt. Neben der Arbeit an den Steven können die 21 Mallspanten aufgestellt werden. Begonnen wird mit dem grössten Mallspant in Höhe Hauptspant der mit mit Lot und Schlauchwaage rechtwinklig zur Kielbohle ausgerichtet wird.

Die anderen Mallen werden mit Distanzplatten angebracht und oben mit dem Eselshaupt verbunden. Auf den Querholmen werden Sentlatten genagelt.

Die Beplankung ist auf 56 mm Stärke konzipiert (s. Festlegung der Planungsdaten des Nachbaus – Gesprächsprotokoll), die oberen Gänge über KWL können etwas schwächer ausgeführt werden³. Die gesägten Planken werden nachträglich bebeit. So ist auf eine ausreichende Anfangsstärke zu achten. Probebeilegungen an abgelagerten und damit schwerer zu bebeilenden Plankenstücken wären sinnvoll.

Von achtern beginnend wird beplankt; die Plankenlänge variiert von 3-9,2 m, die längste Planke beim Kieler Koggenbau wog fast 250 kg und war nur mit 9 Mann handhabbar. Diese Masse kann bei vorliegendem Bau noch übertroffen werden.

Die Lasche für die unterste Planke wird schmaler gehobelt als die darauffkommende.

Drei Nagelreihen, zwei davon von außen- nach binnenbords, die letzte von binnenbords nach außen verbinden die einzelnen Plankengänge.

Bei der Laschung der Planken eines Ganges wird die untere Planke auf 13 mm, die darüber liegende auf 18 mm verjüngt.

Die Laschen sind ca. 70 mm breit, nach gegenwärtigen Lehrmeinungen macht die Breite der Planke die doppelte Lannungsbreite aus. Da die Planken, insbesondere des Unterwasserschiffes, der Uecker-Randow-Kogge entsprechend, stark konzipiert wurden, kann die Blattlasche etwas kürzer berechnet werden.

Nach dem Anpassen wurden die auf die Steven zugehenden Planken mit 6 Nägeln an die Sponung des Stevenknies der Kieler Kogge genagelt, diese Art der Befestigung hat sich bewährt und wird übernommen.

Die Planken werden am Innensteven vorn auf 250 mm (beim Kieler Nachbau 220 mm), achtern auf 200 mm (Kieler Nachbau:180 mm) verjüngt.

Die Kimmung des Schiffes fällt stärker aus als bei den Bremer Nachbauten und dem Poeler Koggenbau, die Verwringung der Planken im Zugang zum Steven des Kielganges ist damit nicht so groß und damit der Ansatz der gedämpften Planken wahrscheinlich einfacher.

Beim Übergang vom Stevenknie zum Kiel ist die Planke natürlich zu belassen und nicht mit einem Winkel zu versehen, da durch die Verdrehung der Planke diese ohne Bearbeitung passt. Die unteren Planken gehen ausgeputzt an den Vordersteven, die oberen dagegen werden in voller Stärke in die Innensteven eingelassen.

Es ist auf ausreichende Dämpfung der Planken zu achten. Erfahrungswerte sehen pro Zentimeter Eichenholz eine

Dämpfungszeit von mindestens 30' vor. Die Dämpfung der Planken von mindestens 3 Stunden wäre somit sinnvoll. Die Länge der Planken ist auszumitteln, da die Stöße der einzelnen Gänge nicht übereinander liegen dürfen, sondern ca. 1m versetzt angebracht werden müssen. Die Stöße der Kielgänge müssen mit der Lasche des Kiels verschießen und dürfen nicht unter dem Mast liegen. Auch ist darauf zu achten, dass mindestens 3 Gänge zwischen zwei Lannungen liegen, die auf das gleiche Innenholz treffen. Die Nachbauten des Bremer Schiffsfundes folgten dem archäologischen Vorbild, welches nicht konform mit den hier zu Grunde gelegten Richtlinien des GL von 1920 und damit den Richtlinien für die Infahrtbringung von Historischen Wasserfahrzeugen ist.

Die Planken sind mit der für die Koggen symptomatischen Klinkertechnik zu verbinden, wobei die Klinkernägel, hier aus Chrom-Nickel-Stahl mit angeschweißtem Kopf, von außen durchgetrieben und zweimal über ein Rundstahl umgeschlagen, wieder in das Holz zurückgetrieben werden müssen. Unbedingt Beachtung finden muss der diagonale Sitz der Nägel, da sonst das gleiche Faserpaar verletzt wird. Eine entsprechende konusförmige Art des Nagelschaftes sichert den festen Sitz der Nägel auch über mehrere Jahre. Historische Koggenfahrzeuge waren wahrscheinlich nur wenige Jahre im Einsatz und amortisierten sich durch die hohe Handelsrendite entsprechend schnell. Historische Nachbauten als kostenintensive Ereignisse müssen nachhaltigeren Prämissen folgen.

Der Nagelabstand beträgt 180 mm, also ca. eine Handspanne, der Abstand der Nägel von der Unterkante der Planke ist 30 mm groß. Die Oberkante der Planken wird rund gearbeitet damit kein Wasser auf den Planken steht.

Kalfaterung

Einer der bestimmenden Unterscheidungsmerkmale zwischen wikingerzeitlicher Schiffbautechnik und der Bauweise der Koggen war die Außen- und Innenkalfaterung mit Werg, wobei insbesondere die als koggentypisch herausgearbeitete Innenkalfaterung als Halterung der Kalfatmasse durch Leisten, die wiederum durch Sinteln befestigt wurden, ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal ausmachte. Diese Technik dient uns als sicherer Beweis der Schalenbauweise. Etliche Funde, so der von Hiddensee und Poel, liessen allerdings diese Innenkalfaterungsverbindung vermissen. Auch bei dem hier zu Grunde gelegten Ebersdorfer Koggenmodell ist diese Innenkalfaterungstechnik nicht vorhanden. Von der grundsätzlichen Überlegung her macht eine Innenkalfaterung aus zwei Gründen auch nicht viel Sinn.

³ Korth, a.a.O. S. 26. Ebenda, a.a.O. S. 27. GL Abschn. 6, §1, S.33 Korth, a.a.O., S. 26.

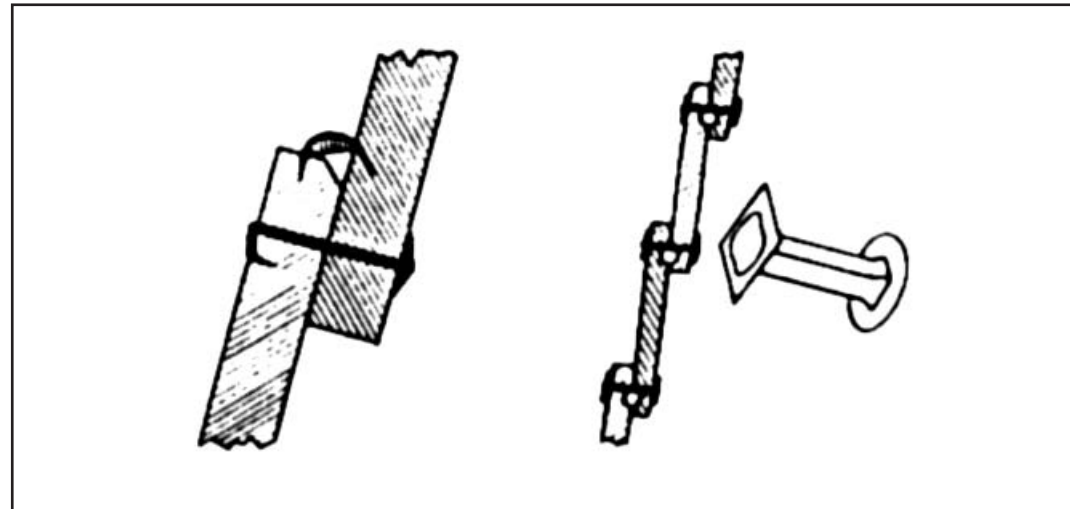


Abb. 70: Links: Die Koggentypische Plankenverbindung und Abdichtung mit Kalfatleiste und Sinteln. Rechts: Die wikingerzeitliche Plankenverbindung. Durch die Symbiose beider entstand, wie bei der Poeler Kogge nachgewiesen, ein ostseetypische Plankenverbindung im Mittelaler.

Zum einen rottet die dem Bilgewasser ausgesetzte Kalfaterung schnell, zum anderen kann der von Außen wirkende Wasserdruck die Kalfatmasse bei Lösung der Sinteln durch das Arbeiten des Schiffes, herausdrücken. Vielleicht ist das der Grund, weshalb wir diese Form der Kalfaterung bei dem Typ, dem die Uecker-Randow-Kogge in der Konstruktion folgt, nicht bemerken. Hier wurden die Vorteile der wikingerzeitlichen Kalfaterung (Abb. 70) als Kalfaterung von außen genutzt und auch bei den Koggen eingesetzt. Auch der Poeler Koggenachbau folgt dieser Linie.

So wird eine Kandle aus ölgetränktem Hanfwerg bei der UECKER-RANDOW-KOGGE von Aussen die Dichtung der Plankengänge leisten. Sie wird von aussen mit Kalfateisen zwischen die Planken getrieben.

Innenkiel

Der Innenkiel ist als Kantholz gearbeitet und kann je nach Holzwerbung aus 2 Stücken zusammengesetzt werden. Beim Bremer Schiffsfund ist er aus einem 11,40 m langen Stamm herausgehauen worden. Sollte eine Zusammensetzung aus Stücken erwogen werden, müssen die Lannungen von Kiel und Kielschwein verschiessen. Auch eine Lannung in Höhe Mastfuß muss in jedem Falle vermieden werden. Die Unterkante des Innenkiels wird entsprechend der Stärke der Bodenwrangen ausgeklinkt. Ein Modell vereinfacht die Einpassung des Innenkiels Die Lippbolzen, die die Halterung des Kielschweines gewährleisten, dürfen 1/8 schwächer sein als die Lannungsbolzen, sie sind gleichfalls aus Chrom-Nickel-Stahl.

Die Lagerung des Mastes im Kielschwein ist auch bei Koggen unterschiedlich im archäologischen Befund bemerkbar. Bei der Kollerupkogge, einem recht früher Fund eines Schiffes in Koggenbauart, verbessern sogenannte Mastspanten den Sitz des Mastes im Kielschwein.

Hier wird dem Bremer Original gefolgt, dessen Mastfuß 2.60 m lang und im Durchschnitt 400 mm breit und 320 mm hoch ist. Die seitliche Wandung des Mastfußes ist ca. 50 mm groß. An beiden Abschlusseiten kann eine Aufbalkung durch Kantholz den Mastfuss, wie beim Bremer Schiffsfund nachgewiesen, verstärken. Der Mastfuß ist so auszuarbeiten, dass Splintholz vermieden wird und der Fuß die Maßerung nicht schneidet. Beim Bremer Schiffsfund ist er deshalb schräg versetzt ausgearbeitet.

Die Innenhölzer

Nach dem Abschluss der Beplankung am fünften Gang sind die Bodenwrangen einzusetzen. Über der vierten Bodenwrange wird das Bugband auf den Innensteven aufgesetzt. Der achterliche Innensteven bekommt zwei Bodenwrangen. Der Abstand der Bodenwrangen folgt der Zeichnung in der Anlage und richtet sich nach dem generellen Spantenriss. Die Verbindung der Wrangen mit den Planken erfolgt durch Holznägel (32x24 mm). Diese Löcher werden mit einem 24er Bohrer gebohrt und mit einer Reibe aufgerieben. Die eingetriebenen Holznägel werden mit einem Keil aufgetrieben und erhalten somit festen Halt. Dieser Keil darf nicht in Längsrichtung der Faser der Wrange laufen. Die am höchsten belasteten fünf Wrangen mittschiffs werden mit den Bodenplanken durch Edelstahlbolzen in einer Stärke von 20 mm verbunden, die anderen Hölzer werden durch Holznägel verdübelt.

Im Mittelalter wurden mehreckige Holznägel verwendet, die hier eingesetzten werden gedrehselt. Nach ca. dem achten Gang können die Spanten lotrecht eingebaut werden, sie sind beim Bremer Schiffsfund schief eingesetzt. Für die Spanten sind fast kreisrunde Hölzer auszusuchen sonst laufen die Spanten über den Draht und brechen. Die Spantlaschen betragen ca. 2,7 m und folgen damit dem Kieler Nachbau. Die Dicke der Innenhölzer kann vorn und achtern von 1/5 auf 1/10 oder die Spantentfernung um 1/10 vergrößert werden.

Die Spanten enden am 8. Gang weil dort die Querbalken eingesetzt werden und eventuelle Spantknickstellen Schwachstellen ausmachen. Die Teilung der Spanten folgt dem Auflangerplan von Lahn auf Blatt 26, auf den sich u.a. dieser Bericht bezieht.

Die Seitensteven

Sie sind sichelförmig auszuarbeiten in einer Länge von ca. 6,50 m, wobei das breite, gerundete Kopfende oben liegt und die auslaufende Spitze in den Kielbereich verläuft. Die Seitensteven werden zugeschärft und folgen im wesentlichen der Expertise von Lahn.

Die Querbalken

Das Schiff ist mit mindestens 5 Querbalken auszusteifen, wobei Querbalken 1 der Betingsbalken ist. Die Breite des Querbalkens macht die Länge aus, die der Balken aus der Außenhaut herausragt. Auf den Siegeln erkennen wir zumeist recht gut die Querbalken, die durch die Dammer Zollrolle auch archivalisch belegt sind. Aber nach der Rolle wie nach den Siegeln kann man auch von Schiffen ohne diese Querhölzer ausgehen. Bei der Kollerupkogge scheinen die Querhölzer nur lose aufgelegt zu haben.⁴ Da hier formal dem Ebersdorfer Modell gefolgt wird, welches 4 Querbalken aufweist, und das Schiff damit auch wesentlich mehr Seitenstabilität bekommt, finden diese Elemente bei der UECKER-RANDOW-KOGGE Verwendung.

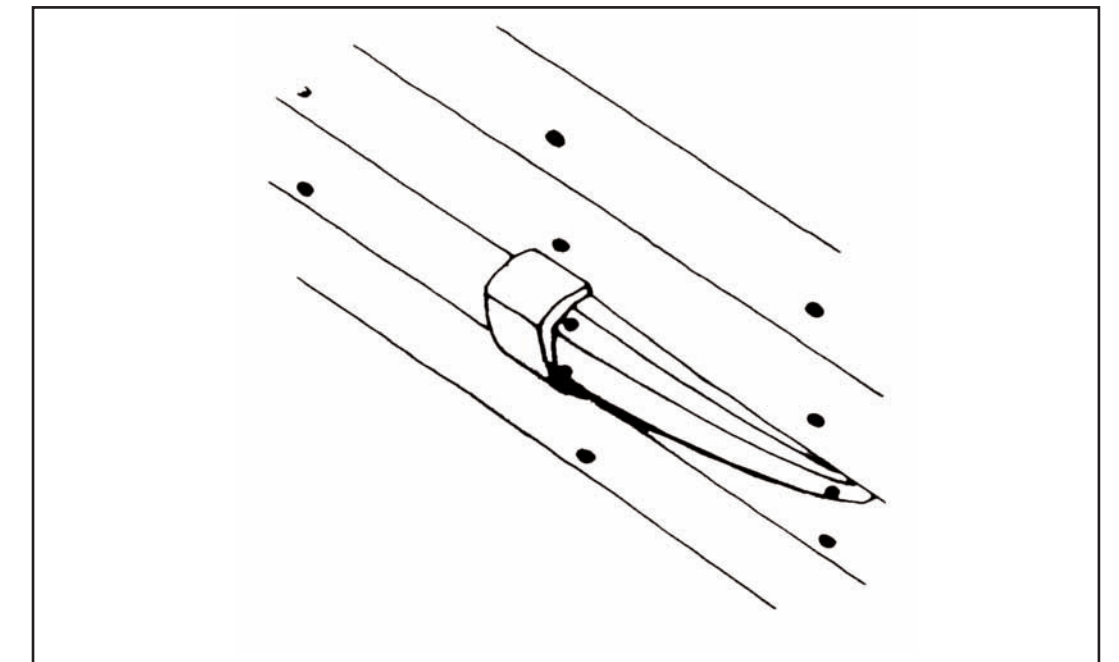


Abb. 71: Auf fast allen Koggensiegeln sind Holzfender, wie beim Vedby-Hage-Wrack nachgewiesen, die die Querbalkenköpfe vor Rammung schützen.

Die auf den Siegeln von z.B. Kiel nachgewiesenen Fender weisen wir auch archäologisch durch einen Koggenfund von Ny-Hellesund aus Südnorwegen nach, die Schutzfender schliessen achterlich in einer Länge von ca. 80 cm an den Querbalken an. Querhölzer mit Fendern sind auch beim Vedby-Hage-Wrack in einer Länge von 40 cm und beim Gedeby-Schiff nachgewiesen. (s. Abb. 71)

Am Ebersdorfer Modell finden wir auch Ankerklüsen und eine Art Kranbalken, zu dem wir auch eine archäologische Parallele am Vedby-Hage-Wrack von 1435 aufzeigen können (s. Abb. 72). Die Klüshölzer, als trapezförmige Zwischenstücke, gehen beidseits vom Innensteven zur Innenkante der Seitenstevens. Die Seitenstützen sind 10 cm stark, 2,5 m lang, mit 3 Eisenbolzen befestigt. Die Querbalken sind 7–8 m lang und haben nach den Bremer Vorgaben einen Durchmesser von ca. 300 mm. Die Kieler Kogge besitzt ebenfalls 5 Querbalken, wobei 4 davon ca. 320 mm stark sind und auf dem 8. Gang aufliegen, in dem sich eine ca. 40 mm tiefe Nut befindet.

⁴ Korth, J.D. Die Schiffbaukunst, Teil 1, Berlin 1826, S. 11 Steinhaus, C.F., a.a.O. S. 76 ff. GL, S. 27, Par 2, Abs. 3. GL S. 28 P. 2, Abs. 6 Korth, a. a. O. S. 26. Ebenda, a. a. O. S. 27. GL Abschn. 6, §1, S.33 Korth, a. a. O., S. 26.

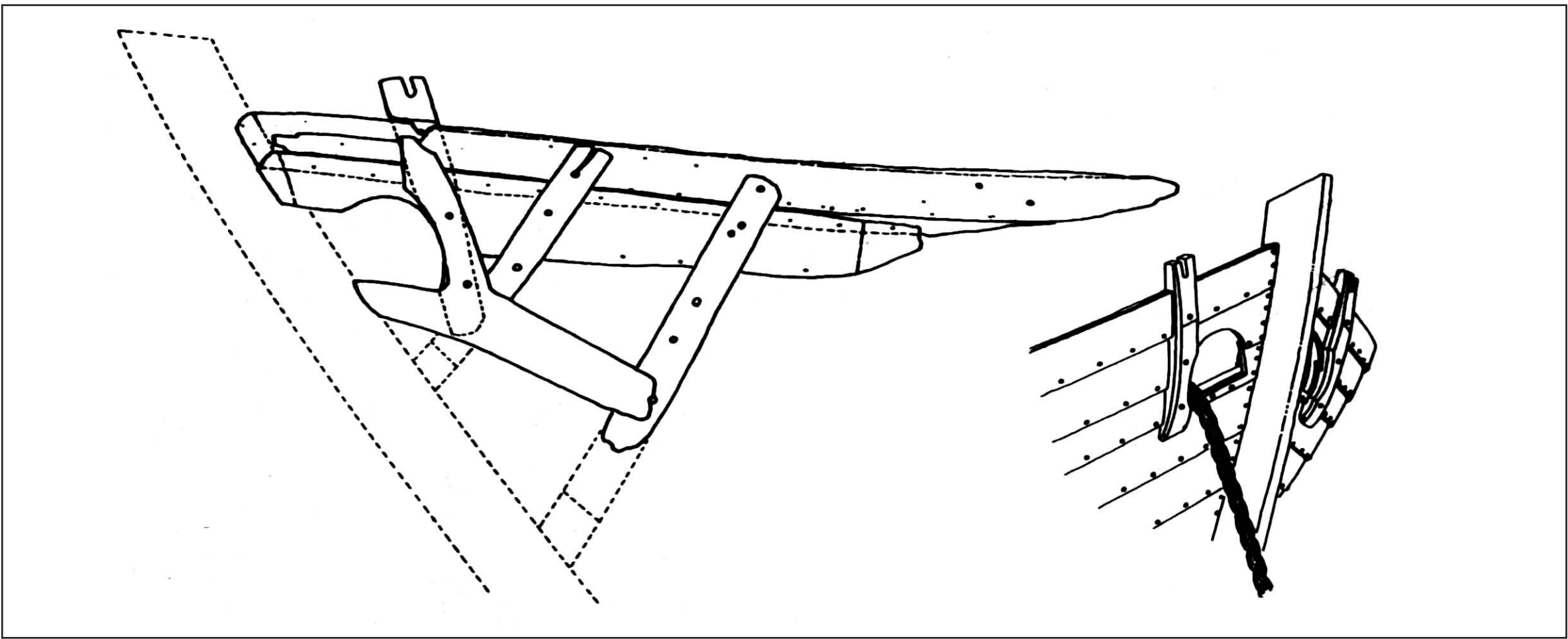


Abb. 72: Am Vedby-Hage Wrack finden wir die archäologische Parallele zu den Ankerklüsen und dem Kranbalken des Ebersdorfer Modells.

Der 5. Querbalken als Betingsbalken liegt bei der Kieler Kogge auf dem 10. Gang auf. Durch das Ausstraken der Beplankung an den Mallen ist der Einbau der Querbalken letztendlich festzumachen und ihr Aufliegergang festzulegen. Es ist darauf zu achten, das vor dem Einbau der Querhölzer der entsprechende Gang gedämpft und angeschmiegt werden muss, bevor die Querbalken fest positioniert werden. Die Innenseite des Querbalkens ist mit einer Kalfatfase zu versehen. Die Querbalken sind innen mit einem Spant durch 70 mm breite und 45 mm hohe Zapfen quer zu verbinden.

Die Querbalken 3 und 4 sind die zuerst verbauten. Die Planke wird in einer Länge, die der Balkenbreite minus der Tiefe der beiden Vertikalnuten entspricht, ausgespart. Dann wird der Balken in Position gebracht, die untere Nut aufgerissen, der Balken umgedreht und die Nut ausgestemmt, mit der Straklatte, die den entsprechenden Gang vorzeigt, die obere Nut ausgestemmt und die Vertikalnuten aufgerissen und angezeichnet. Der Betingsbalken hat eine Stärke von 400 mm, an den Kanten verjüngt er sich auf 350 mm. Er liegt auf zwei Spanten gleichzeitig auf, diese gehen von zwei Bugbändern aus. Deren Verlängerung, macht eine der Dreipunktauflagen des Vorderkastells aus. Wahrscheinlich macht der 12. Gang das Setzbord aus.

Die Stevenbänder

Vorn sind 6 und hinten 5 Stevenbänder, dem Bremer Schiffsfund folgend, einzubauen. Diese Stevenbänder werden, entgegen

dem Bremer Fund⁵, mit den Steven verbolzt und mit Planken durch Holzdübel verbunden. Zur Fixierung der Bugbänder durch die Schräge sind beim Einbau Knaggen auf die Steven zu nageln. Nach dem Einbau können auch die letzten Mallen herausgenommen werden.

Querknie und Decksauflieger

Die Querknie liegen auf den Querbalken auf, sind 130 mm dick und reichen 700 mm an den Bordwänden hinauf und sind als eine Art Auflanger 1,9 m hoch. Sie dienen der Auflage der Längsdecksbalken, auf denen das Deck aufliegt. Es ist baugleich den Plänen von Lahn zu folgen.

Die Knie liegen mit Blattlasche auf den Querbalken, werden mit Holzdübeln aufgesetzt, und sind durch die Bordwand hindurch mit Edelstahlbolzen mit aufgeschmiedeten Kopf verbunden.

Garnierung

Der Bremer Schiffsfund ist nur partiell innenbeplankt. Aus historischen Überlieferungen wissen wir aber von mittelalterlichen Fahrzeugen, die Massengut, insbesondere Getreide, versiegelt und deshalb eine vollständige Garnierung aufgewiesen haben müssen.

Diesen Überlegungen wurde hier gefolgt und eine vollständige Garnierung empfohlen. Sie besteht aus 40 mm dicken Planken, der Kimmstringer ist 70 mm stark. Die Breite der Planken variiert von 500–350 mm.



Abb. 73: Die vermessungsunterlagen des Ebersdorfer Modells erlauben den detailgerechten Nachbau der Klüshölzer und der Ankeraufhängung bei der Großausführung in Torgelow.

Die Seitenlängsstringer müssen nicht gebogen werden, nur die Endstücke müssen gedämpft werden.

Gang- und Bratspill

Zu Schiffsnachbauten derartiger Größe und Zeitstellung, vergleichbar dem Bremer Schiffsfund, haben wir keine indifferenten Erkenntnisse zu den beiden Spillarten. Sie sind durch die Kieler Versuche in ihrer Handhabbarkeit untersucht und für praktisch befunden worden.⁶

Das Ruder

Mittelalterliche Ruder wurden bisher nur als sekundär verbaute Wrackteile bei stadttarchäologischen Grabungen gefunden. So weist der Stralsunder Ruderrest keinen direkten Bezug zu einem weiteren Schiffsteil aus.



Abb. 75: Das erhaltene Querknie des Ebersdorfer Modells und die Ausparungen der Decksauflieger sind fast identisch zu denen am Bremer Schiffsfund bemerkten.

⁵ Ewe, a.a.O. S. 194, no. 83 Naævestad, Lokaliserte Midtaldervrag i Øst – Norge. In: Norsk Sjøfartsmuseums Årbok 1998, Oslo 1999. Lahn, a.a.O., Blatt 8 Myrhol, The Late Medieval Wreck from Vedby Hage, Denmark, In: Down the River of the Sea, Proceedings of the ISBSA 1997, Gdansk 2000 S. 229-234. das Schiff ist unfertig vom Bauplatz vertrieben und nachfolgend gesunken.

⁶ Lahn, a.a.O., Blatt 21 pers. Mitteilung Uwe Baykowski Bleile, Maritimes Kulturgut aus Stadtkerngrabungen in Rostock und Greifswald. IN Bodendenkmalpflege in Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin 1996, S. 133-149. Kulesa, Die archäologischen Ausgrabungen in der Stralsunder Hafenvorstadt. In: Archäologische Informationen 21.2, S. 315-325. Förster, Schiffbau und Handel an der südwestlichen Ostsee – Untersuchungen an Wrackfunden des 13.-15. Jahrhunderts, Beide Telefonate am 6. Februar 03 Schneekluth, Entwerfen von Schiffen, Aachen 1985, S. 216.



Abb. 76: Eine der konstruktiven Besonderheiten am Ebersdorfer Modell ist der integrierter Heckaufbau der damit die baugleiche Vorlage für die UECKER-RANDOW-KOGGE liefert.

Es ist ein 2,2 m langer, 32 cm breiter und 8 cm langer Ruderschaft. Dieser kann nachweislich von Untersuchungen zu einem mindestens 15 m langen Koggenfahrzeug gehört haben. Die in Bremen 1962 entdeckte Kogge war wahrscheinlich nicht mit ihrem Ruder ausgerüstet, als sie sich losriss und nachfolgend sank. Nach Aussage des zuständigen baubeaufsichtigenden Wissenschaftlers Wolf Dieter Hoheisel und des Schiffbaumeisters Uwe Baykowski wurde beim Nachbau der Kieler Kogge das Ruder empirisch nach Koggensiegeln entwickelt. Es zeigte sich bei Versuchsfahrten, dass dieses etwas zu wenig Fläche aufweist und damit geringer angeströmt wird. In der Tat reichen bei so breiten Fahrzeugen die üblichen Relationen von Ruder- und Lateralplanfläche nicht mehr. Das macht sich besonders bei Stützmanövern bemerkbar. Das bestimmende Moment der Breite des Schiffes ist die Hauptspantfläche, welche sich bei Schiffen unter 30 m verhältnismässig stark bis in den Achterbereich durchsetzt. So bezieht man sich beim Entwerfen des Ruders von breiten Schiffen auf die Hauptspantfläche von der 12-16% dann die Ruderfläche ausmacht.

Hauptspantfläche: 7,51 mxm bei Spant 8 daraus folgt 12-16% von der Hauptspantfläche.

$7,51:100=x:16 = 1,2 \text{ m}^2$ da $1:15 = 2 \text{ cm}^2$

Folgende Formel wird bei der Berechnung der Ruderfläche nach dem GL zugrunde gelegt:

$A = c1 \times c2 \times c3 \times c4 \quad 1,75 \times L \times T : 100$

c1= Faktor für den Schiffstyp hier 1,7 für Schlepper und Trawler

c2= Faktor für den Rudertyp hier allgemein 1,0

c3= Faktor für das Ruderprofil hier 1,0 für Plattenruder

c4= Faktor für die Ruderanordnung hier 1,5 für Ruder ausserhalb des Propellerstrahles

Die Ruderberechnung der Kogge mit ihrer vorherrschenden Bewegung vor dem Wind ist ein Sonderfall, insbesondere

dadurch, dass der Hinterstevan wie beim Bremer Schiffsfund so auch beim Ebersdorfer Koggenmodell fast 20 Grad über Vertikal nach achteraus liegt.

Das beeinträchtigt zum einen das Steuern harter Ruderlagen, bedingt aber auch die gehaltene Ruderanströmung bei starkem Vorfall des Schiffes durch das Fahren an Raumwindkursen, insbesondere wenn das Schiff stark stampft.

Die Ruderwirkung der Kieler Kogge ist auch nach Aussage Uwe Baykowskis und Wolf-Dieter Hoheisels vom Deutschen Schiffahrtsmuseum Bremerhaven wahrscheinlich verbesserungswürdig. Beide gehen nach den Segelversuchen von einem zu kleinen Ruder aus. Das hat zur Folge, dass die Anströmung beim Stampfen abreisst.

Segelexperimente der ROAR EGE, einem Skuldelev 3 Nachbau, haben ergeben, dass beim Rahsegeln das Ruder nur zur Feinabstimmung benötigt wird, vorausgesetzt Lateral- und Segelschwerpunkt liegen auf einer Kräfteachse. Durch Segelversuche mit der Kieler Kogge wissen wir um die Übertragbarkeit von Segeleigenschaften rahgetakelter Fahrzeuge.

Die Kieler Kogge hat eine Rudergrösse von ca. 2 m². Nach Konsultation mit verschiedenen Rostocker Schiffbauern und entsprechend den auf differente Bezugsgrössen aufgemachten Berechnungen entschied sich der Verfasser, der Berechnung von Prof. Alfred Dudzius zu folgen, wobei 7-12% des Ergebnisses der Multiplikation der Länge der KWL mit dem grössten Tiefgang die Fläche des Ruders ausmacht. Es wurde eine mittlere

Prozentzahl von 10% angesetzt, so ergibt sich eine Ruderfläche von 3,6 m². Das Ruder ist den Schleppversuchen zur Folge an der Abrißkante nicht zu modellieren.

Befestigungen des Ruders

Der GL legt fest, dass für die Ruderschäfte, Fingerlinge, Schrauben und Passfedern in der Regel keine Werkstoffe verwendet werden dürfen, deren Nennstreckgrenze unter N/mm² und deren Mindestzugfestigkeit unter 400 N/mm² und über 900 N/mm² liegt.

Mit der geschmiedeten Ausführung des Kieler Nachbaus und der Referenz für die UECKER-RANDOW-KOGGE liegen die Werte im Norma. Da das Schiff nach den Richtlinien für die Infahrtbringung historischer Wasserfahrzeuge entsteht, werden Berechnungen zur elastischen Verformung des Ruderschaftes nicht verlangt. Nach GL müssen die Ruderfingerlinge 1/5 der Dicke des Ruderkopfes entsprechen. Die Ruderscheeren müssen von genügender Länge sein, um eine zuverlässige Verbolzung zu gewährleisten. Hier folgen wir den Abmessungen der archäologischen Expertise am Bremer Schiffund.

Die Definition der Anströmgeschwindigkeit ist bei Modellversuchen von nicht freigeführten Rudern, also im Modell eingehängten Rudern, nicht sicher. Die Grösse der mittleren Anströmgeschwindigkeit ist auch noch vom jeweiligen Ruderwinkel abhängig.

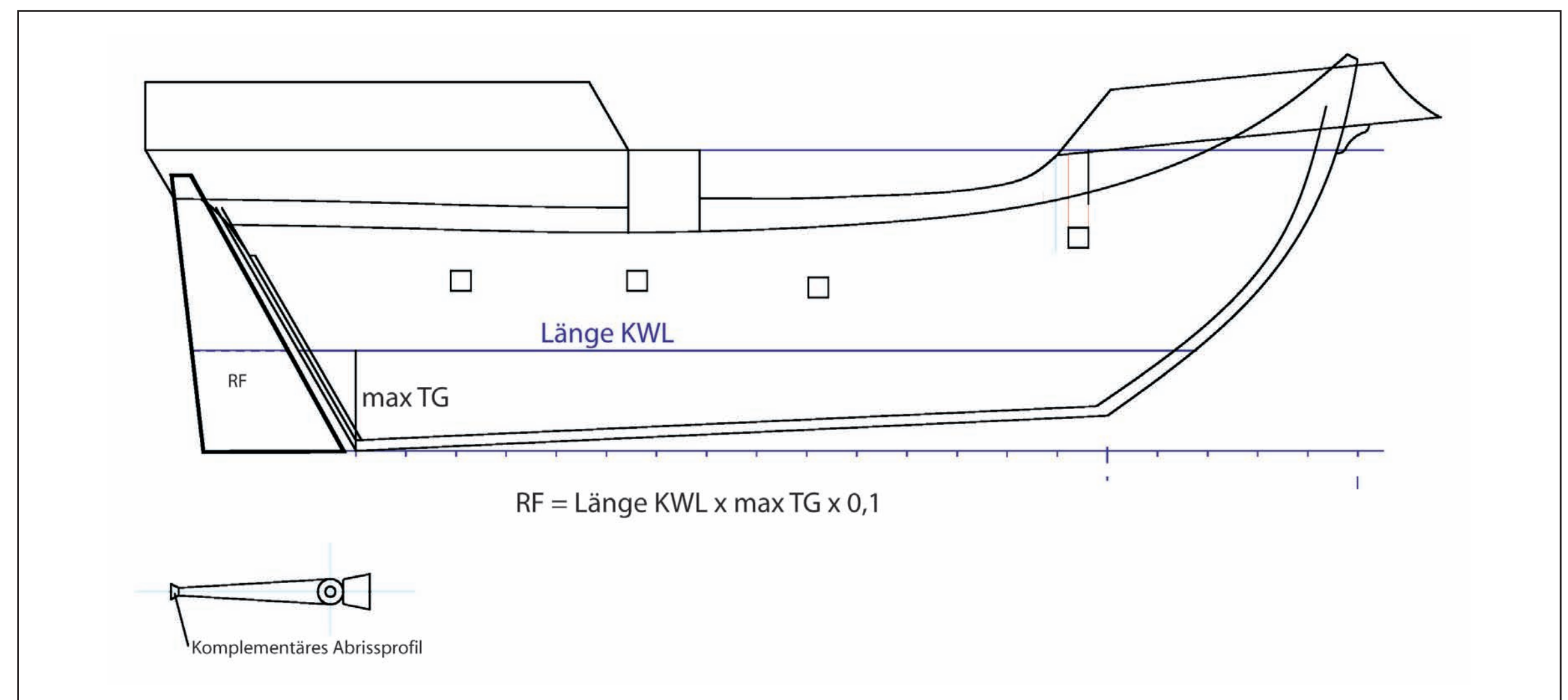


Abb. 77: Die Abstimmung der Rudergrösse war einer der Kardinalfragen für die vorzunehmende Manövrierfähigkeit der Großausführung. Da archäologische Parallelen kaum zu finden sind, waren theoretische Vorbetrachtungen unabdinglich.

Aufbauten

Auf vielen Abbildungen, die Koggen zugerechnet werden, finden wir Kastele vorn und hinten, die wahrscheinlich der Abwehr von Seeräubern und Ausliegern dienten. In diesem Zusammenhang dürfen wir derartige Konstruktionen durchaus zu den typischen Baumerkmalen einer Kogge zählen, wenn auch Überreste vom Achterkastell nur einmal durch den Bremer Schiffsfund und Vorderkastele schon gar nicht auf uns gekommen sind. So ist Hirte und Wolf zu widersprechen, die Kastellaufbauten als besondere typologische Note von Holkfahrzeugen festmachen. Siegeldarstellungen zeigen recht schön die Entwicklung dieser Aufbauten. Man kann Dammann folgen, der schreibt: „Diese Kastele ruhten anfangs auf einem Balkengerüst, wurden allmählich solider und letztlich integrierter Bestandteil der Gesamtkonstruktion“, wie es uns die 3 Danziger Siegel als Entwicklungsmarken veranschaulichen. Hier ist das Wehr auf dem Masttopp durchaus in dieses Konzept mit einzubinden.⁷

Vorderkastell

Die bisherigen Koggennachbauten, eingeschlossen der Nachbau des Kalmar II Schiffes ALUETT haben auf den Aufsatz eines vorderen Kastelles verzichtet. Die meisten Nachbauten beziehen sich konstruktiv auf den Bremer Schiffsfund, an dem keinerlei schiffbauliche Elemente, die den Aufsatz von vorderen Aufbauten ermöglichen, nachzuweisen sind. Dennoch gehen die Bearbeiter von dem geplanten Aufsatz eines Vorderkastells wegen nachgewiesener besonderer Bohrungen, aus. Die Integration der Aufbauten bezeichneter Schiffe wird auch oft mit der Entwicklung der Kogge zur Holk in Verbindung gebracht. Theoretisch wäre es durchaus denkbar, dass unser Gefäß seiner Form nach auch als Holk in historischer Zeit bezeichnet worden ist. Doch auf fast allen Siegeln und anderweitigen ikonografischen Überlieferungen dieses Fahrzeuges sind besondere wehrartige Aufbauten im Vorderbereich des Schiffes nachzuweisen. Gerade aber der hier zur Grundlage des Vorderkastells erhobene Dreikönigsaltar beweist, dass es auch koggenartige Fahrzeuge ohne vordere Aufbauten gegeben hat. Die Auftraggeber entschlossen sich dennoch, vordere Aufbauten in die Planung einzubeziehen. Sind derartige Kastele, eine Bezeichnung, die schon den wehrhaften Charakter impliziert, im Früh- und Hochmittelalter eher kastenförmig und wenig in die Linie des Schiffes integriert, so wirken die Abbildungen des Spätmittelalters auf den Schiffskörper bezogen homogener, weil sie flacher und schlanker gefertigt sind. Diese folgen schon den später in der Renaissance gefallenden Formen und finden sich

so zum Beispiel auf Schiffsabbildungen des kürzlich entdeckten Delitscher Altars . Diese Formen der Vorderkastele kann man durchaus westeuropäischen Mustern und den im Mittelmeerraum gefertigten Aufbauten an die Seite stellen. Sie weisen in vielen Punkten Ähnlichkeiten auf. Durch den nicht vorhandenen archäologischen Schluß war die Integration des Vorderkastells nicht unproblematisch und der Verfasser entschied sich für eine auch im Mittelalter schon bewährte Stabilität der Dreipunktaufhängung. Hierbei bieten sich in der avisierten Grösse des vorderen Kastells als verbindungstragende Elemente der Betingsbalken, die beiden Quersteven und ein Kniestück am äusseren Vordersteven an. Das Schandeck führt schliesst an den Aufgang zum Vorderkastell heran.Eine aufziehbare Treppe betont die Verteidigungsmöglichkeit des Schiffes im Enterkampf. Den Richtlinien entsprechend wurde eine Wehr von 1,36 m Höhe um beide Kastele gezogen. Nach den Modellversuchen wurden mit dem Schiffbauer Dirk Krotz und des versierten Angestellten Werner Löwe die Sichtachsen des Schiffes festgelegt und die Wehr auf 1,20 m reduziert. Der vordere Teil läuft spitz zu, wie in der Anlage ersichtlich. Zahlreiche Vorderansichten dieser Art von „spitzen Kastellen“ zeigen auch das Zusammengehen der seitlichen Verschanzungen in einen spitzen Winkel, so dass nur eine Person bis ganz in den Vorderbereich des Kastelles gelangt, an dem keinerlei Zinnen aufgesetzt sind. Fährt der Steuermann an der Pinne blind, so sind durch den Aufbau des Vorderkastells die Sichtachsen auch für den Kursgebenden beschränkt. Ein weiteres Problem ist die Bedienung der Kranbalken für den Anker, da nicht nur ausreichend Stehsicherheit, sondern auch Sichtmöglichkeiten in die Planung eingeschlossen werden müssen. Hier zeigen das Eberstorfer Koggenmodell und der Dreikönigsaltar den gleichen konstruktiven Ansatz bei der Ausarbeitung der Ankerklüse. Dies wird durch archäologische Ergebnisse am Hedby-Hage-Wrack auch schiffsarchäologisch untermauert. Das Ebersdorfer Modell hinterlässt ein Kniestück, welches als Scheibgatt oder als Kranbalken das Beiholen des Ankers ermöglicht .

Achterkastell

Der Aufbau des Bremer Schiffsfundes ist als Gerüstkonstruktion gelöst. Integrativer wirkt der untere Aufbau des Achterkastells durch eine Heckbalkenkonstruktion am Ebersdorfer Modell, welches das Vorbild als konstruktive Alternative des achteren Aufbaus bei der UECKER-RANDOW-KOGGE vorhält. Sie dient als ideale Verbindung zu rundgatt gefertigten Schiffen mit ihrem eckigen Achterschiffaufbau und dürfte eine Weiterführung des gerüstartigen Aufbaus der Heckkonstruktion



Abb. 78: Das Vorderkastell mit Bugsprit und Holepunkt für die Bullings auf dem Dreikönigsaltar zu Rostock.

im späteren Mittelalter ausweisen. Erstmals hat uns das Mataro Modell Kenntnisse dieser Heckkonstruktion vermittelt und könnte westeuropäische und mediterrane Einflüsse im nordeuropäischen Schiffbau manifestieren, wobei die frühen Erfahrungen der Kreuzfahrer auf dem Mittelmeer im Hochmittelalter bislang wenig Beachtung fanden. So eine Heckbalkenkonstruktion könnte bei der Ausweitung des Deutschen Ordens in Richtung Nordeuropa den nordeuropäischen Schiffbauern schon weitaus früher Anregungen geliefert haben. Bei der Heckbalkenkonstruktion des Ebersdorfer Modells ist die Hauptdeckhöhe dem Achtersteven aufgesetzt, beim Mataro Modell ist dieser Balken erst im Schanzoberkleid zu finden und halbiert den achteren Raum über dem Deck. Dem Ebersdorfer Vorbild entsprechend wird der Heckbalken auf den Achterstevenkopf aufgesetzt und der 13. Plankengang geht in die seitlich angesetzten Eckstützen ein.Somit öffnet diese Konstruktion das bis dato rundgatte Schiff zu einem rechteckigen Abschluss. Mit dem Aufsatz der Deckstringer und die Einlassung einer Nut in den Heckbalken wird der Decksaufbau garantiert. Die Eckstützen sind durch eine Aussparung in den Heckbalken eingelassen. Der Spiegel des achterlichen Aufbaus wird entweder auf die Eckstützen aufgeplankt oder die Planken werden durch eine Nut in die Eckstützen eingelassen.

Schmuck

Das Stralsunder Siegel zeigt recht eindrucksvoll die Verzierung der Kastele. Diese waren wahrscheinlich Prunkensembles, die nicht immer mitgeführt wurden. So ein Merkmal ist uns aus einer Stadtgrabung aus Stralsund bekannt und war lange Jahre im Kulturhistorischen Museum in der ständigen Ausstellung präsent.

⁷ Andersen, Steering Experience with Square-Rigged Vessels, In: Sailing in to the Past, Roskilde 1986, S. 208ff. s.d.a. Dammann., Die Kieler Hansekogge hat das Kreuzen gelernt, In: Das Logbuch 28, 1992, Heft 1. s. Ergebnisse der Schleppversuche im Kapitel Windkanal- und Schleppversuche. Ruder und Manövieranlage, Abschnitt 14 B 1. Teil, GL Bestimmungen, Seite 14. GL, a. a. O., S. 28. Lahn, a. a. O., Sturzel, Untersuchung über den Einfluss des Modellmasstabes und der Kennzahl auf die Versuchsergebnisse von Schiffsrudern, Köln 1966. Dammann, Koggen – Lastesel der Hanse, In: Das Logbuch 36. Jg. 2000 Heft 2, S. 83., Ewe, Schiffe auf Siegeln, Rostock 1972, Lindquist, Aluett en skebteknisk laboratorium. Jahrbuch des Marinemuseet Karlskrona. Waskönig, Bildliche Darstellungen des Holk, Museum für Hamburg Altana, 1969 Springmann, Ein neues Koggenmodell und neue ikonografische Darstellungen von Koggenfahrzeugen

Der Hauptantrieb des Schiffes basiert auf seiner Segelleistung. Dennoch ist eine Motorisierung, als komplementärer Antrieb zwingend für die sichere Infahrtbringung des Fahrzeuges vorgeschrieben. In Hinsicht der Manövrierbarkeit des Schiffes und somit dessen Sicherheit, insbesondere der Operation im engen Fahrtrevier des Stettiner Haffes und des Ueckermünder Hafens, ist ein sowohl einfach zu bedienender als auch besonders effizienter Antrieb unabdingbare Voraussetzung für das sichere Bewegen des Schiffes. Ein Vergleich der derzeit bei Koggennachbauten eingesetzten Antriebe (Bremer Koggennachbau UBENA mit Schraubenantrieb, Kieler Hansekogge mit Schottelantrieb), sowie der vorliegenden Erfahrungswerte bei mehrjährigen Betrieb auch in Hinsicht auf Wirtschaftlichkeit und Wartung war Grundlage der Überlegung.

Der Richtlinie für die Infahrtbringung historischer Wasserfahrzeuge folgend, deren Grundlagen bei einem Gespräch mit dem Sachverständigen, Kapitän Jan Fock, präzisiert worden sind (s. Gesprächsprotokoll vom 4.10.02), den grundlegenden Überlegungen in Hinsicht Fahrtrevier, empfiehlt der Bearbeiter in Konsultation mit der Schottel – Werft Josef Becker GmbH & Co. KG in Spay und der Volvo Central Europe GmbH, Vertretung Kiel, zwei Schottelantriebe SPJ 22, angetrieben durch zwei Schiffsdieselmotoren vom Typ Volvo TAMD D7AT, mit nachfolgend dargestellter Applikation und dem entsprechend konfigurierten Lieferumfang.

Allgemein zum SCHOTTEL Pump Jet Type SPJ 22

Der SCHOTTEL Pump Jet ist ein Strahlantrieb für Schiffe mit geringem Tiefgang und Schiffe, die in flachen Gewässern operieren. Er arbeitet nach dem Prinzip einer Kreiselpumpe.

Der SCHOTTEL Pump Jet besteht aus Laufrad, Spiralgehäuse, Brunnenabdeckplatte, Winkelgetriebe für die Kraftübertragung und Steuerungsgetriebe.

Als Antriebsorgan dient das Laufrad (Impeller), das in einem Spiralgehäuse arbeitet (s.Abb.).

Das Laufrad saugt das Wasser unter dem Schiffsboden an, beaufschlagt es im Spiralgehäuse mit Energie, und stößt es, unter einem Winkel von ca. 16° zum Schiffsboden, aus der Austrittsöffnung im Spiralgehäuse wieder aus.

Das Spiralgehäuse ist über ein Steuergetriebe um seine Hochachse drehbar, so daß der Schubstrahl um 360° endlos in jede Richtung gelenkt werden kann.

Zum Schutz gegen Ansaugen von Treibgut ist der Wassereinlauf an der untersten Stelle des Spiralgehäuses mit einem Schutzgitter ausgerüstet.

Das Laufrad wird über das Winkelgetriebe von einer horizontalen Antriebswelle angetrieben. Im Brunnendeckel ist das Steuerungsgetriebe eingebaut, das von einem vertikal montierten Ölmotor angetrieben wird. Die Schmierung erfolgt durch Ölteilfüllung.

Der Pump-Jet ist in einem Brunnen, der von der Schiffswerft gefertigt wird, eingebaut. Zwischen Brunnendeckel und Brunnenflansch ist eine Dichtung montiert.

Technische Daten

SCHOTTEL Pump Jet Type SPJ 22

Antriebsleistung	91 kW
erforderliche Antriebsdrehzahl	2018 UpM
Übersetzung im Kraftantrieb	i = 1,26 : 1
Laufraddurchmesser	340 mm
Antriebsdrehrichtung auf den	
Eingangsflansch gesehen	rechts
Material	Stahlausführung
Brunnendurchmesser	900 mm
Blechdicke des Brunnens	6 mm
Volvo Penta Typ TAMD 41 ND (kein SCHOTTEL Lieferumfang)	

Ausgangsleistung (inkl. Verluste)	95 kW
Motordrehzahl	2200 UpM
Newage Wendegetriebe am Motor	
angeflanscht	PRM40L
Untersetzung	i = 1,09 : 1

Steuerung

Durch den SCHOTTEL Pump Jet kann der Schub in jede gewünschte Richtung gelenkt werden.

Zu der zuvor beschriebenen SCHOTTEL Anlage gehört folgende Steuerung:

SCHOTTEL Steuerungssystem Type SST 602, Copilot 2000, wegabhängige elektro-hydraulische Steuerung.

Vom Handrad des Copilot-Kommandogerätes wird die gewünschte Stellung des SCHOTTEL Ruderpropellers vorgegeben. Dadurch wird über die Elektronikschaltgruppe und Steuerungshydraulik ein Ölmotor beaufschlagt, der das Steuermoment zum SCHOTTEL Ruderpropeller überträgt.

Die Schubrichtung des SCHOTTEL Ruderpropellers wird durch elektrische Rückmeldung von einem Schubrichtungsanzeiger angezeigt. Bei Ausfall der elektronischen Copilot-Steuerung wird automatisch auf zeitabhängige Notsteuerung umgeschaltet. Für den Ausfall steht im E-Schaltschrank ein potentialfreier Kontakt für optische und akustische Warnung zur Verfügung.

Copilot-Kommandogerät, Schubrichtungsanzeiger, Schalter für zeitabhängige Notsteuerung und Umschalter für Haupthydraulik-Hilfshydraulik werden zum werftseitigen Einbau mitgeliefert.

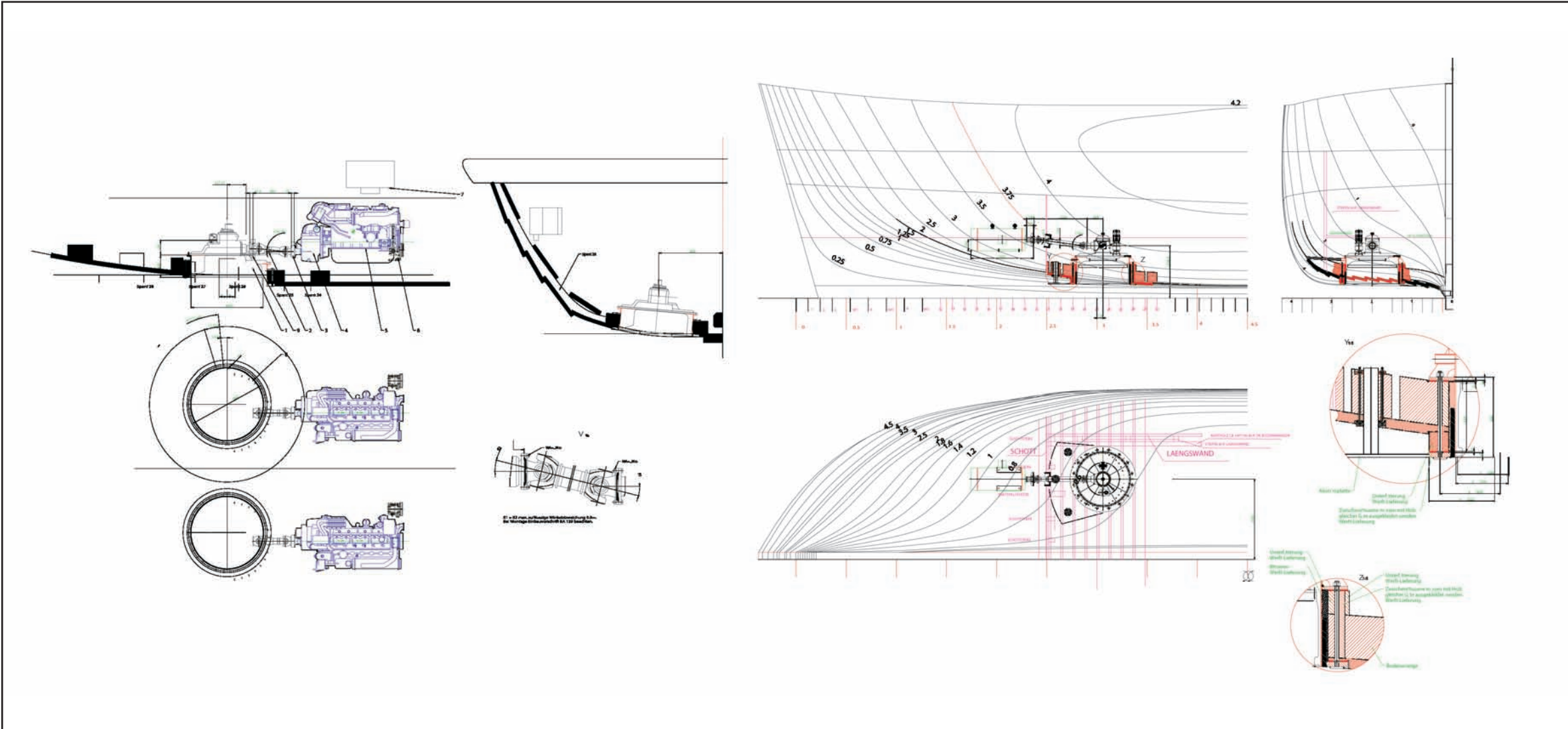


Abb. 78: Vorläufige Einbauvorschlge der beiden Shuttles und der beiden Motoren

Weiterhin werden lose, zum werftseitigen Einbau, mitgeliefert:

- 1 Schaltschrank mit dem Elektroniksystem
- Steuerungshydraulik bestehend aus:
- Hydraulikpumpe mit Spannkonsole, Keilriemenscheibe lose, ohne Keilriemen

Elektro-Anlage

Die Elektro-Anlage ist einpolig abgesichert und zweipolig verkabelt. Zum Betrieb der Anlage müssen von der Bauwerft folgende Spannungen zur Verfügung gestellt werden:

1. 24 V DC +/- 20%, AC-Anteil < 1,5 V, Absicherung 16 A, als Zuleitung für den Schaltschrank
2. 24 V DC +/- 20%, AC-Anteil < 1,5 V, Absicherung 2 A, aus der Notstromquelle als Zuleitung für die Schubrichtungsanzeige.

Die Verkabelung der Anlage erfolgt nach dem SCHOTTEL Schaltplan. Die hierin gemachten Angaben über Einzelkabel, Querschnitte und Abschirmung sind zwingend einzuhalten. Ein Schaltschrank wird lose mitgeliefert und muß werftseitig erschütterungsarm in der Nähe des Antriebs (max. Entfernung 15 m) montiert werden. Alle im Schaltschrank eingebauten Teile sind untereinander und bis auf eine gemeinsame Klemmleiste verdrahtet. Der Schaltschrank ist funktionsgeprüft.

Kraftübertragung

- Die Kraftübertragung vom Motor zum SPJ erfolgt über:
- Wendegetriebe Newage Typ PRM40L, i = 1,09 : 1, incl. Elastikkupplung (kein SCHOTTEL-Lieferumfang)
 - Kraftgelenkwelle GWB, Typ 587.15 (SCHOTTEL-Lieferumfang)

Drehzahlverstellung

Die Drehzahlverstellung erfolgt mittels Zug-Druck-Kabel. Der Drehzahlverstellhebel ist Teil des Copilot-Kommandogerätes. Zug-Druck-Kabel mit Befestigungsmaterial wird zum werftseitigen Einbau mitgeliefert.

Wendegetriebeschafft (kein SCHOTTEL-Lieferumfang)

Das Wendegetriebe wird über einen Hebel am Wendegetriebe betätigt. Nicht zum Lieferumfang gehören:

- Steuerpult
- Meldeleuchte
- Warnanlage
- elektr. Verbindungsleitung
- Ersatzteile
- Ölfüllung
- Abnahme durch eine Klassifikationsgesellschaft
- Antriebsmotor
- Wendegetriebe
- Wendegetriebeschaltung
- elastische Kupplung
- Außenbrunnen

Der Motor

Allgemein zum Volvo Penta Schiffsdieselmotor Typ D 7A T (Schiffshauptantriebsausführung)
Der Volvo Penta ist ein wassergekühlter 6-Zylinder-Viertakt-Reihendieselmotor mit Direkteinspritzung, Turbolader, Einkreiskühlung und hat einen von Hubraum 7,15 Liter. Technische Spezifikation für die Dauerleistung von 24 Stunden Fahrtbetrieb:

108 kW (147 PS) bei 1900 1/min

Die angegebenen Leistungen sind Schwungradleistungen. Zertifiziert nach IMO.

Standardlieferumfang

Grundmotor:
SAE 3 Schwungradgehäuse
Austauschbare, nasse Zylinderlaufbuchsen
Austauschbare Ventilsitze
elastische Motoraufhängung
Spritzölgekühlte Kolben mit 2 Kompressionsringen und einem Ölabstreifring
Kurbelwelle, 7-fach gelagert
Schmierölanlage:
Ölfilter: mit Wechselfatrone
Ölkühler, kann zum Reinigen geöffnet werden
Handöllenzpumpe
Kraftstoffanlage:
Einzel-Einspritzpumpen mit Rauchbegrenzer, Fabr. Bosch
Kraftstoffförderpumpe mit Handpumpe
Kraftstoffvorfilter mit Wasserabscheider

Elektrisch betätigte Abstellung über ein Magnetventil

Kühlanlage:
Kielkühlung
Geregelter Frischwasserkreislauf mit 2 Thermostaten
Kühlsystem, vorbereitet für Heißwasserabnahme / Heizung

Turboanlage:
Abgasturbolader
Frischwassergekühltes Turbinengehäuse
Luftfilter mit auswechselbarem Filterelement

Abgasanlage:
Abgassammelleiste wassergekühlt
Abgasbogen (trocken)
5" 90° Abgasbogen

Elektrische Anlage:
24 Volt, 2 Polig komplett verkabelt
Anlasser 24 V / 4 kw
Lichtmaschine 28 V / 55 A
Sicherungsautomat

Instrumentenkit:
1. Instrumententafel für Maschinenraum
Drehzahlanzeige mit Betriebsstundenzähler
Öldruckanzeige
Temperaturanzeige
Kühlwasser - Level Anzeige
Voltmeter
Warnlampe für Öldruck, Kühlwasserübertemperatur und Ladekontrolle
Prüftaste für Alarme
Turbolader und Getriebeöldruck Anzeige
Akustischer Alarm für Kühlwasserübertemperatur und Öldruck
Schlüsselschalter für Start und Stop
9 m Kabelbaum
Schalter für Instrumententbeleuchtung
2. Instrumententafel für Steuerhaus
Anzeigen wie oben
Sonstiges:
1 x Wartungs- und Betriebsanleitung
1 x Ersatzteilkatalog
Riemenscheibe 3-Spur
Werkzeugsatz
Motorausführung nach besonderer Verfügung:
• Sender und Geber nach Klasse
• Doppelwandige Einspritzleitungen
• Doppel Öl und Kraftstofffilter Umschaltbar (ohne Auffangwanne)
• Zertifikate und Abnahmeprotokoll

Da das Schiff auch im Ostseeraum operiert und damit eine genügende Kraftstoffreserve erforderlich ist, wird konzeptionell, auch in Fragen Trimmung, auf zwei Plastekraftstoffbehälter mit einem Gesamtfassungsvermögen von 2x500 Litern abgestellt. Diese sind miteinander umlaufend verbunden, aber auch einzeln abschließbar und damit zur Trimmung des Schiffes einsetzbar installiert. Sie sind entsprechend der Zeichnung installiert (s. Abb???)

Das archäologische Material des Bremer Schiffsfundes läßt mit dem Mastfuss, dem Rüstbalken und zahlreichen Bohrungen indirekt Aussagen zu den Holepunkten und der Maststellung zu. Das Rigg wurde nach den Takelungsanweisungen des Italieners Timbotta aus dem Jahre 1445 entwickelt, deren praktische Relevanz in Segelversuchen und der Auswertung derselben abgeglichen wurde. Außerdem lässt ikonografisches Material, allen voran die zahlreichen Siegeldarstellungen, Aussagen zum stehenden und laufenden Gut zu. Die Takelung und der Segelplan der Kieler Kogge fasst diese Expertisen mit ein und bildet somit die Grundlage der Takelplanes.

Nach Timbotta ist der Mast von Höhe Deck aus, drei- bis viermal so lang, wie das Schiff im Hauptspant in der Höhe der KWL breit ist. Somit ergibt sich aus der Breite des achten Hauptspantes der 6,5 m breit ist, zuzüglich der berechneten Deckshöhe von ca. 4 m eine Gesamtlänge des Mastes von ca. 28 m. Der Mast der Kieler Kogge ist zum Vergleich nur 25 m lang. Dies fasst die Gesamtlänge der bereits durch den Auftraggeber gefällten Douglasie mit ein. Wir wissen aus schriftlicher Überlieferung, das das Mastholz im Spätmittelalter zumeist Kiefer aus dem Baltikum war. Die Douglasie als schnell wachsenden Nadelbaum weisen wir erst in der Neuzeit im Baugebiet nach.

Nach w.o. erwähnter Takelanweisung ist das Verhältnis der Mast- zur Rahlänge 4:5. Wobei sich die Mastlänge hier auf den Bereich Oberkante Deck bis zur Oberkante Salinge bezieht. Somit ergibt sich eine Rahlänge für die UECKER-RANDOW-KOGGE von 16 m. Die Grösse des Achterlieks des Hauptsegels halbiert die Rahlänge, wozu max. drei Bonnets gefahren werden können.

Diese zusammen machen noch einmal die Gesamtgrösse des Hauptsegels aus. Das Hauptsegel ist somit 120 qm gross. Die Gesamtsegelfläche incl. Bonnets ist demnach 240 qm gross. Im Vergleich dazu ist das Segel der KIELER HANSE-KOGGE 192 qm groß. Die Maße des Kieler Segels wurden „noch geringfügig“ in seiner Gesamtsegelfläche nach den Windkanalversuchen verkleinert.

Zur freien Führung der Brassen wurde von der Rahlänge auf jeder Seite 0,50 m abgerechnet. Der Segelumriss der Koggen ohne Reff darf ikonografischen Darstellungen folgend als quadratisch angenommen werden, wenn auch es hier Ausnahmen gibt, wie sie z. B. durch das Stadtsiegel Kiels von 1365 auf uns kommen. Ellmers erkennt darauf eine Art Luggersegel. Heinsius interpretiert dieses Segel als Ewersegel. Insbesondere in der Frühphase der Kogge, bei der wir dieses Schiff noch mit Seitenruder, dem sogenannten Firrer, nachweisen, dürfte das Segel asymmetrisch gefertigt worden sein, wie wir es auch auf

dem 1242 datierten Bild in Wroclaw erkennen. Nachweisbar sind auch quergestellte Rahen wie auf dem Kieler Siegel aus dem 14. Jahrhundert. Westphal geht davon aus, dass damit der Segelschwerpunkt nach hinten verlagert worden ist. Nach Aussagen des Schiffbauers der Kieler Kogge wurden diese Art von Segelstellungen mit Erfolg durch den Kieler Nachbau gefahren.

In der behandelten Spätzeit des Mittelalters, in der unsere Kogge historisch einpasst, sind m.W. nur noch symmetrische Segel bekannt, die wahrscheinlich aus Baumwolltuch oder Leinen gefertigt worden sind und wahrscheinlich eher dunkel waren. Von rot weiss gestreiften Segeln, wie wir sie von der UBENA kennen, erfahren wir nur im Zusammenhang von Geleiftfahrten im Rahmen repräsentativer Zwecke, „schneeweisse“ Tücher sind nicht überliefert.

Die Rah wird mit einem festen Block gefiert, in Hinsicht der Grösse des Blocks und der verwendeten Takelage werden die Erfahrungen im Segeln der Kieler Kogge zu Grunde gelegt. Als Takelmaterial wird Tevlon für das stehende und laufende Gut empfohlen. Die Holepunkte für das laufende Gut werden durch die Windkanalversuche vorgegeben (s. Kapitel Windkanal- und Schleppversuche).

Sie sind auch entscheidend was das Anschlagen der Bullings angeht, die auf den bis dato gefertigten Koggengefäßen keine Berücksichtigung gefunden haben.

Allgemein wird das laufende Gut nach den Erfahrungen der Kieler Kogge geführt.

So gehen die Brassen achtern durch die Kastellwand, die Schoten 2 m vor dem Ausgang zum Kastellaufbau. Sie gehen zum Rüstbalken der identisch mit den Aufzeichnungen von Lahn gefertigt wird, dort wird auch das Fall, welches am Mast läuft, dichtgesetzt.

Die Wanten laufen auf Wantklampen zu, die wir als Vorläufer der Püttingseisen ansehen und durch das Elbinger Siegel nachweisen.

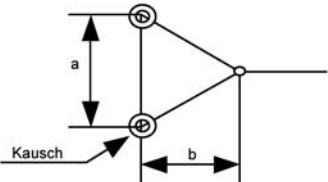
Die Gefahr des Backschlagens in Verbindung mit dem Riss des Vorstages ist bei Wende und Halse von Koggenfahrzeugen ein besonderes Problem, was abgestimmte Manöver voraussetzt. Einerseits wirkt die Vortriebskraft und der Widerstand zum Ausgleich der Segelseiten- und Rumpfquerkraft aus dem sich der Driftwinkel ableitet, hieraus lassen sich die durch Windstärke und Richtung ableitbaren Geschwindigkeitspolare ermitteln.

Hier ist die Auswahl des Materials von laufenden und stehenden Gutes entscheidend, da das Rack der Wanten mehr als ein Meter vorlich oder seitwärts ausmachen kann, und somit zur Luvgierigkeit von fast 3% bis 7% beiträgt, wenn anstatt Herkules-, Hanftauwerk eingesetzt wird.

Kogge, Leinenlängen am Modell, M 1:50
Maße in mm, Segelfläche in cm

Segel	Rahwinkel α	Brassen	Schoten	Bullings
		Stb	Bb	Stb
Großsegel S1	90° (grün)	405	404	273
Segelfläche	110° (schwarz)	374	420	294
318 x 320	130° (rot)	350	443	315
1017,6	150° (blau)	320	485	370
S2	90° (grün)	358	357	235
Segelfläche	110° (schwarz)	322	392	200
318 x 264	130° (rot)	295	424	302
839,62	150° (blau)	270	453	312
S3	90° (grün)	325	323	235
Segelfläche	110° (schwarz)	283	362	190
318 x 210	130° (rot)	248	394	141
667,8	150° (blau)	220	418	108
S4	90° (grün)	303	295	217
Segelfläche	110° (schwarz)	258	335	182
318 x 157	130° (rot)	213	371	141
499,26	150° (blau)	nicht gemessen, da Rah zu stark in Stb-Wanten drückt		290

Stb	Niederholer Mitte-Stb	Mitte-Bb	Bb	Vorschot Bb
162	146	146	162	n. gef.
145	162	158	178	n. gef.
130	156	163	194	n. gef.
130	156	163	194	178
167	165	165	170	
162	165	170	185	
160	165	172	195	
145	165	185	192	
159	160	160	163	
156	160	173	182	
148	160	176	185	
145	160	180	195	193
150	148	148	152	
152	148	172	171	
143	148	179	181	



Bullings: nur bei Segel S1
Leinenlänge gemessen ab Verbindungslinie der beiden Kauschen

Position untere Kausch von Unterliek	Kauschenabstand a	Knotenentfernung b bei gleichschenkl. Dreieck
Stb	Bb	Stb
135	136	40

Koordinaten der Hole- und Anschlagpunkte im schiffbaulichen Koordinatensystem (Ursprung: Hinterkante Kiel) an der Großausführung
Maße in m
* - für Vermessung der Leinenlängen verwendet

Leine	x	z	x	z	Bemerkung
Brassen	-3,35	-3,00	-3,35	3,00	*
Schoten	-2,45	-3,15	-2,45	3,15	*
zus. für Schoten	-0,20	-3,37	-0,20	3,37	
Vorschot am Vorderkastell	14,61	0,00			
Bullings vorn					
am Klüver	23,22	0,00	12,14		
am Vorderkastell	14,61	0,00	6,81	23,71	0,00
Bullings achtern	-3,35	-3,00	-3,35	3,00	6,51
seitliche Niederholer					
auf Achterkastell	4,99	-1,25	6,61	4,99	1,25
auf Hauptdeck	6,04	-1,50	4,47	6,04	1,50
mittlerer Niederholer					
auf Achterkastell	4,99	0,00	6,81		
auf Hauptdeck	6,04	0,00	4,47		
untere Anschläge von					
Wanten					
achtern	5,89	-3,75	4,07	5,89	3,75
mitte	6,79	-3,75	4,07	6,79	3,75
vorne	7,24	-3,75	4,07	7,24	3,75
Achterstag	-3,98	0,00	7,00		
Vorstag	19,14	0,00	7,61		
Anschlaghöhe am Mast					
stehendes Gut	25,55				
Segel					
S1	22,70				
S2	19,70				
S3	17,20				
S4	14,70				

Nach gegenwärtigen Kenntnisstand wiesen mittelalterliche Segler, die wir in unserem Zusammenhang typologisch mit der Bezeichnung „Kogge“ ansprechen, nicht die charakteristischen Merkmale auf, die wir am Fund des Bremer Schiffes von 1376 bemerken. Es zeigt sich, dass besonders Schiffe im Ostseeraum baulich und damit formal Unterschiede aufwiesen. Mit dem Bau der „Uecker-Randow-Kogge“ werden diese Unterschiede an einem Nachbau beispielhaft und können im Seeverkehr auf ihren Einfluss in Hinsicht Seeverhalten und –tüchtigkeit untersucht werden. Dieser Bericht zeigt zum einen den historio-archäologischen Hintergrund dieses experimentellen Nachbaus vom Modellbau zur Grossausführung auf und schafft zum anderen durch die hier dezidiert ausgewiesenen theoretischen Vorbetrachtungen die Grundlagen für die geforderten Sicherheitsstandarts bei der Infahrtbringung von historisch orientierten Nachbauten. Mit der detaillierten Baubeschreibung, in Zusammenhang mit den von Lahn erarbeiteten Vorlagen zum Bremer Schiffsfund, ist eine ausreichende Bausicherheit gegeben. Die berechnete Stabilität und das bestimmte Verhältnis von Segel- und Lateralschwerpunkt sprechen für das vom Auftraggeber erwartete Segelverhalten. Bleibt den Schiffbauern und vorallem den beteiligten Jugendlichen ein gutes Gelingen bei der Umsetzung der Arbeiten beim Bau der Grossausführung zu wünschen, und dem Schiff eine engagierte Mannschaft sowie immer „eine Handbreit Wasser unter dem Kiel“. Möge im Heimathafen Ueckermünde ein Ambiente geschaffen werden, welches die Zeit dieses Schiffes, der Hanse entgegenkommt

Danksagung

Der Bearbeiter dankt den Mitarbeitern der beteiligten Institutionen für die ideenreiche und gute Zusammenarbeit. Julia Alvarez für Ihre Hilfe. Martin Offermann für seine grossartige Unterstützung bei der Fertigstellung der Druckvorlage. Prof. Dr. Liselott Huchthausen für die Redigierung des Textes. Wolfgang Schubert und Dirk Krotz für das verständnisvolle und engagierte Miteinander bei der Umsetzung des Vorhabens und allen die sich für den Bau der Uecker-Randow-Kogge einsetzen.

α	Anströmwinkel des scheinbaren Windes zum Segel	$L_{KWL, aw}$	Länge der KWL am Überwasserschiff (ohne Ruder)
β	Drift-, Schiebe- oder Gierwinkel zwischen Schiffslängsachse und v_s	$L_{KWL, bw}$	Länge der KWL am Unterwasserschiff (mit Ruder)
γ	Winkel zwischen scheinbarem Wind und gesegeltm Kurs	M_{xs}	Moment um die x_s -Achse bzgl. $S_{Alat'}$ Rollmoment, krägendes Moment
δ_b	Brasswinkel, Winkel zwischen Schiffslängsachse und Stb-Rahnock	M_{ys}	Moment um die y_s -Achse bzgl. $S_{Alat'}$ Trimmmoment
δ_r	Ruderwinkel	M_{zs}	Moment um die z_s -Achse bzgl. $S_{Alat'}$ Giermoment
ε	Anströmwinkel des scheinbaren Windes zur Schiffslängsachse	M_i	Moment um die i-Achse bzgl. des Aufhängepunktes im raumfesten KS
κ	Kurswinkel, Winkel zwischen absolutem Wind und Schiffsgeschwindigkeit	M_{ai}	Moment um die i_s -Achse bzgl. des Aufhängepunktes
λ	Maßstabsfaktor	S_{Alat}	Schwerpunkt der Lateralfläche des Unterwasserschiffes
ρ_L	Dichte der Luft	Stb	Steuerbord
ρ_W	Dichte des Wassers	t	Zeit
$A_{lat,aw}$	Lateralfläche des Überwasserschiffes	T_{Luft}	Lufttemperatur in °C
$A_{lat,bw}$	Lateralfläche des Unterwasserschiffes	T_W	Wassertemperatur in °C
Bb	Backbord	v_a	Geschwindigkeit des wahren (absoluten) Windes im raumfesten KS
c_A	Auftriebsbeiwert am Segel	v_r	Geschwindigkeit des scheinbaren (relativen) Windes
c_{Fis}	Beiwert der Kraft in i_s -Richtung bzgl. S_{Alat}		im schiffsfesten KS
c_{Fai}	Beiwert der Kraft in i_s -Richtung bzgl. des Aufhängepunktes	v_s	Schiffsgeschwindigkeit im raumfesten KS
c_{Mis}	Beiwert des Momentes um die i_s -Achse bzgl. S_{Alat}	v_t	Schleppgeschwindigkeit im raumfesten KS
c_{Mai}	Beiwert des Momentes um die i_s -Achse bzgl. des Aufhängepunktes	$v_{x, y, z}$	Geschwindigkeit in der angegebenen Koordinatenrichtung
F_A	Auftriebskraft am Segel	x, y, z	Achsen des raumfesten KS
F_{xs}	Längskraft im schiffsfesten KS bzgl. S_{Alat}	$(x_{a'} y_{a'} z_{a'})_{aw}$	Koordinaten des Aufhängepunktes des Überwasserschiffes
F_{ys}	Querkraft im schiffsfesten KS bzgl. S_{Alat}	$(x_{a'} y_{a'} z_{a'})_{bw}$	Koordinaten des Aufhängepunktes des Unterwasserschiffes
F_{zs}	vertikale Kraft im schiffsfesten KS bzgl. S_{Alat}	$x_{s'}, y_{s'}, z_s$	Achsen des schiffsfesten KS
F_i	Kraft in i-Richtung im raumfesten KS	X	Kraft an der Waage in x-Richtung
F_{ai}	Kraft in i_s -Richtung bzgl. des Aufhängepunktes	Y_1, Y_2	Kräfte an der Waage in y-Richtung
F_W	Widerstandskraft am Segel	Z_1, Z_2, Z_3	Kräfte an der Waage in z-Richtung
i	Zusammenfassung der Indizes x y z		
KS	Koordinatensystem		
KWL	Konstruktionswasserlinie		

Adams, J. & Rönnpby, J., Kuggmaren 1: the first cog find in the Stockholm archipelago, Sweden. IJNA Vol. 31, S. 172-182.

Andersen, P.K., Kollerupkoggen. Thisted 1983.

Andersen, E., Steering Experience with Square-Rigged Vessels, In : Sailing in to the Past, Roskilde 1986.

Baykowski, Uwe, Die Kieler Hansekogge-Der Nachbau eines historischen Segelschiffes, von 1380. Kiel 1994.

Bill, J., Gedesbyskibet – Middelalderlig skude- og fargefart fra Falster. In: Nationalmuseets Arbejdsmark. Kobenhavn 1991. S. 188-198.

Ders., & Vinner, M., The Gedesby ship under sail. In: Maritime Archaeology Newsletter from Roskilde. Kobenhavn 1995. S. 3-8.

Bleile, R., Maritimes Kulturgut aus Stadtkerngrabungen in Rostock und Greifswald. IN Bodendenkmalpflege in Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin 1996, S. 133-149.

Bracker, J, Die Hanse. Lebenswirklichkeit und Mythos, Ausstellungskatalog, Hamburg 1989.

Cederlund. C.O., A systematical approach to the study of the remains of Old Boats and Ships, In: Aspects of Maritime Archaeology and Ethnography in Northern Europe, London 1984, S. 8-31.

Clarke, R. et al, Recent work on the R. Hamble wreck near Bursledon, Hampshire. In: IJNA 1993, 22.1, S. 21ff.

Crumlin-Pedersen, O., From Viking Ships to Hanseatic Cogs. Third Paul Johnstone Memorial Lecture. No. 4 London 1983.

Ders., Die Kogge. Sternstunde der Schiffsarchäologie. Bremerhaven 2003. S. 266.,

Ders, To be or not to be a cog: the Bremen Cog in perspektive. In: IJNA 29, 2000, S. 230-246.

Dammann, W., Koggen-Lastesel der Hanse, In: Das Logbuch 36. Jg., 2000, H.2, S. 75-86.

Ders., Die Kieler Hansekogge hat das Kreuzen gelernt, In: Das Logbuch 28, 1992, Heft 1.

Dubrowin, G.E., Kalfatklammern als Indikatoren in der norddeutschen und Nowgoroder Schiffbautradition. In: DSA 20, 1997, S. 445-458.

Ekman, C., Sjöhistorika undersökningar vid Björkenäs. In: Sancte Christophers Gilles Chronica 8, Stockholm 1933/34, S. 1-15.

Ellmers, D., Frühmittelalterliche Handelsschiffahrt in Mittel- und Nordeuropa, Neumünster 1984.

Ders., Die Schiffe auf dem Dreikönigsaltar der Johanniskirche in Rostock. In: H. b.d. Wieden (Hrsg.), Schriften zur mecklenburgischen Geschichte, Kultur und Landeskunde 5: Beiträge zur mecklenburgischen Seefahrtsgeschichte.Köln/Wien 1981.

Ders., The Cog as cargo carrier. In: Cogs, Caravels and Galleons. London 1994.

Ders., Hansische Umschau, Schiffahrt und Schiffbau In: Hansische Geschichtsblätter 119, 2001, S. 234-240.

Ders., Mittelalterliche Koggensiegel – ein Diskussionsbeitrag. In: Elmshäuser, K., Häfen, Schiffe, Wasserwege, Bremerhaven 2002,

Ewe, H. Schiffe auf Siegeln, Rostock 1972,

Förster, T. & Lüth F., Schiff, Wrack, baltische Kogge. In: Archäologie in Deutschland, 4/99, S. 8-13.

Ders., Der Schiffsfund vor Poel – Nachweis einer „baltischen Koggenform“. In: Nachrichtenblatt für Unterwasserarchäologie Band 6, Hemmenhofen 1999, S. 77.

Ders, T., Alltagsleben auf spätmittelalterlichen Schiffen, In: Maritime Archäologie Heute, Rostock 2002.

Friel,I. , The Carrack: The Advent of the Full Rigged Ship, In: Gardiner R. (Hrsg.), Cogs, Caravells and Galleons, London 1994.

Fruin, R., Enqueste ende Informacie upt stuk van der reductie ende reformacie van den schiltaelen, voertijts getaxeert ende gestellt geweest over de landen van Hollant ende Vrieslant, gedaen in Jaere MCCCCX-CIIII Hrsg.: Maatschappij der Nederlandsche Letterkunde von E.F. Brill, Leiden 1876

Infomaci up den staet, faculteyt ende gelegenheyt von de stede ende dorpen van Haollant ende Vrieslant, om daernae te reguleren de nyewe schiltaele, gedaen in den jaere MDXIV.

Hrsg.: Maatschappij der Nederlandsche Letterkunde von A.W. Sijthoff, Leiden 1866

Germanischer Lloyd, Richtlinien zum Bau von hölzernen Seeschiffen, , Hamburg 1920.

Gifford, Diskussionsbeitrag, In: Sailing into the Past, Proceedings of the International Seminar on Replicas of Ancient and Medieval Time , Roskilde 1984, S. 177.

Glasow, W., Lodja c kamenniemi jadrami, satonybschaja b Schudckom osero, St. Petersburg 1911.

Greenhill, B., The Archaeology of Boats and Ships, London 1995.

Gründer, K., Hermeneutik und Wissenschaftstheorie, In: Philosophisches Jahrbuch 75, Frankfurt a. Main.

Haseberg v., E., Die Baudenkmäler des Reg. Bezirks Stralsunds, Heft 1, Stettin 1881.

Ders., Baltische Studien XIII, Heft 1, S. 201.

Hasslöf, O., Main Principles in Technology of Ship-Building, In: Ships an Shipyards, Sailors an Fishermen, Kopenhagen 1970, S. 27-72.

Heinsius, P., Das Schiff der hansischen Frühzeit, Köln, Wien 1986.

Hansisches Urkundenbuch I 1033, S. 432.

Höckmann, Olaf, Antike Seefahrt, München 1985.

Johnston, P.F., Shipboatmodels in ancient Greece, Annapolis 1985.

Jorberg, F., Ein Beitrag zum Studium des Hanseschiffes, In: ZVLG, Lübeck 1955, Bd. 15. S. 34-57.

Kant, I., Kritik der reinen Vernunft, Frankfurt a. Main 1984.

Kulessa, B., Die archäologischen Ausgrabungen in der Stralsunder Hafenvorstadt. In: Archäologische Informationen 21.2, S. 315-325.

Korth, J.D. Die Schiffbaukunst, Teil 1, Berlin 1826.

Kulessa, B., Die archäologischen Ausgrabungen in der Stralsunder Hafenvorstadt. In: Archäologische Informationen 21.2, S. 315-325.

Kurth, Fr., Der Anteil niederdeutscher Kreuzfahrer an den Kämpfen gegen die Mauren. In: Mitteilungen des Ins. f. Österr. Gesch. In Wien, 8. Band, Wien 1919, S. 131-252.

Lahn, W., Die Kogge von Bremen. Band I: Bauteile und Bauablauf. In: Schriften des Deutschen Schifffahrtsmuseum 30. Hamburg 1992.

Lindquist, P.I., Aluett – en skepptekniskt laboratorium. In: Marinmusseet Aktuellet, Karlskrona 1998.

Litwin, J., The Copper Wreck. The wreck of a medieval ship reised by the Central Maritime Museum in Gdansk, Poland, In: IJNA 9.3, 1980, S. 217-225.

Ders., Some remarks concerning medieval ship constructions., In: Villian-Gandossi, C. et al., Medieval Ships and the Birth of Technological Societies. Vol. 1: Malta 1989.

Maarleveld, T., Type or technique. Some thoughts on boat and ship finds as indicative of cultural traditions. In: IJNA. No. 24, 1995.

Marchaj, C., A., Die Aerodynamik der Segel: Theorie und Praxis, Delius Klasing 1997.

Mäss, V., A unique 16th Century Ship Find. In: C. Westerdahl (Hrsg.), Carvel Construction Technique. , Proceedings from the ISBSA. Kopenhagen 1988.

Mecklenburgisches Urkundenbuch I.

Mott, The Development of the Rudder???

Mott, L.V., A three-masted ship depiction from 1409, In: IJNA 1994, 23.1., S. 39-40.

Myrhoi, H., M., The Late Medieval Wreck from Vedby Hage, Denmark, In: Down the River ot the Sea, Proceedings of the ISBSA 1997, Gdansk 2000

Naævestad,D. Lokaliserte Middelaldervrag i Øst – Norge. In: Norsk Sjøfartsmuseums Årbok 1998, Oslo 1999

Quijada, X.P., Mediterranean Cog from 1343. In: Model Shipwright 113, 2001. S. 2-12.

Reinders, R., .Shipwrecks of the Zuiderzee. In: flevobericht nr. 197 Lelystad 1980,

Ders., Cog finds from the Ijsselmeerpolders, In: flevobericht 248, Lelystad 1985.

Rudolph, W. Das Schiff als Zeichen, Leipzig 1987.

Sander, I., Spätgotische Tafelmalerei in Sachsen, Dresden, Basel 1993.

Schneekluth, H., Entwerfen von Schiffen, Aachen 1985

Sorokin, Petr, Wodni puti i zudostrojenii na zewero-sapade ruci w sred-newekowe, St. Petersburg 1997.

Solver, C.V., Danske Skibstegninger fra det 15. Aarhundrede, In: Vikingen, Nr. 12, Kopenhagen 1936.

Springmann, M.-J., Ein Wrack des 16. Jahrhunderts aus Mukran, Rügen. In G. DAS 20. Bremerhaven 1997, S. 459-486.

Ders., Fundort Ostsee, Eine maritim-archäologische Zeitreise entlang der deutschen Ostseeküste. Rostock 2000.

Ders., Har vi funnit Finske Falken?. 1/2001. Stockholm. S. 8-13.

Ders., Archäologische, archivalische und bildliche Indikatoren für den soziokulturellen Wandel auf Schiffen der Frühen Neuzeit im Ostseeraum. In: DSA 24, Bremerhaven 2001, S. 333-354.

Ders.. Konstruktionsunterlagen und historio-archäologische Expertise zur Uecker-Randow Kogge, Ukranenland Torgelow 2003, unveröff. Auftragsarbeit

Ders., Årorika i svenska flottans historia -Eine Heldentat vor Rostock, In: Beiträge zur Geschichte der Stadt Rostock. Im Druck.

Ders., Schiffahrt und Schiffbau während der Frühen Neuzeit im Ostseeraum, Diss. I. Vorbereitung

Ders., Some thoughts about shipping and ship-building by Prussian tribes, in Vorbereitung ISBSA 2003 Proceedings

Steinhaus, C.F., Die Schiffbaukunst in ihrem ganzen Umfange, Hamburg 1858.

Steussloff, W. Das Ebersdorfer Koggenmodell von 1400. Ein Beitrag zum nordeuropäischen Schiffbau des späten Mittelalters. In: Deutsches Schifffahrtsarchiv 6. S. 189-207. Bremerhaven 1983.

Sturtzel, W., et al, Untersuchung über den Einfluss des Modellmasstabes un der Kennzahl auf die Versuchsergebnisse von Schiffsrudern, Köln 1966.

Van der Merwe,, Towards a Three Masted Ship. Public Record Office, London, S. 125, Friel, I., England and the Advent of the Three-Masted Ship, In: International Maritime Museums, 4th Conference Proceedings, Paris 1981.

Vogel, W., Geschichte des deutschen Seeschiffahrt von der Urzeit bis zum Ende des 15. Jahrhundert. Berlin 1915.

Waskönig, D., Bildliche Darstellungen des Holk im 15. Und 16. Jahrhundert. In: Jahrbuch des Altonaer Museums in Hamburg 7, Hamburg 1969.

Weski, T. The Ijsselmeer type: Some thoughts on Hanseatic Cogs. In: IJNA 28, 1999. S. 360-379.

Ders., Fiktion oder Realität? Anmerkungen zum archäologischen Nachweis spätmittelalterlicher Schiffsbezeichnungen, In: Skyllis 1999, Heft 2, S. 96-106.

Ders.. Anmerkungen zur spätmittelalterlichen Schifffahrt auf Nord- und Ostsee. In: Elmshäuser, K., Häfen, Schiffe, Wasserwege, Bremerhaven 2002.

Westphal, V., Kollerup-Kogge. Ein Unikum oder ein Schlüsselfund zur Schiffbaugeschichte? In: Das Logbuch 35 Jg., 1999 Heft 3, S. 103-115.

Winter, H. Das Hanseschiff im ausgehenden 15. Jahlhundert, Rostock 1970.

Wolf, T., Tragfähigkeiten, Ladungen und Masse im Schiffsverkehr der Hanse. In: Quellen und Darstellungen zur hansischen Geschichte. N.F. 31, Köln, Wien 1986.

Åkerlund, H., Fartygsfunden i den forna hamnen i Kalmar. Upsala 1951.